

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**FAKULTA TEXTILNÍ**



**APLIKACE VODIVÝCH DRAH V ODĚVECH PRO  
SPOJOVÁNÍ SENSORŮ, ČIDEL A ELEKTRONICKÝCH  
SOUČÁSTEK**

**APPLICATION CONDUCTIVE PATHS IN CLOTHING FOR  
CONNECTING OF SENSORS, DETECTORS AND ELECTRONIC  
COMPONENTS**

**Bc. Petra Hubková**

**Vedoucí diplomové práce:** doc. Ing. Antonín Havelka, Csc.

**Rozsah práce:**

Počet stran textu: 71

Počet obrázků: 58

Počet tabulek: 12

Počet stran příloh: 19

Zadání diplomové práce  
(vložit originál)

## **Prohlášení**

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum

Podpis

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu diplomové práci panu doc. Ing. Antonínu Havelkovi Csc. za cenné rady a připomínky. Děkuji též paní Haně Rulcové, panu Gerhardu Geislerovi a Ing. Ladislavu Nagymu, kteří mi pomáhali s tvorbou vodivého obvodu. Dále bych chtěla poděkovat firmě Applycon za poskytnutí materiálu.

V neposlední řadě bych ráda poděkovala své mamince, která mi umožnila studium, svému příteli, jeho rodině a spolubydlícím za podporu.

## **Anotace**

Tato diplomová práce se zabývá způsoby tvorby vodivých drah a jejich propojením s dalšími elektronickými komponenty. Práce je rozdělena na dvě části.

První část práce je věnována obecně inteligentním textiliím, převážně nositelné elektronice. Jsou zde uvedeny různé možnosti využití, materiály pro její vytvoření a složky, které musí obsahovat.

Experimentální část práce se zaměřuje na výběr vhodných materiálů a způsobů pro tvorbu vodivých drah a jejich ukončení. Jsou zde zkoumány elektrické parametry před a po údržbě. Z materiálů, které vykazovaly dobré vlastnosti je vyhotoven prototyp signalizačního trička.

Klíčová slova: inteligentní textilie, nositelná elektronika, vodivá dráha, rozebíratelný vodivý spoj, elektrický odpor.

## **Annotation**

This thesis deals with creation of conductive paths and ways of connection between these paths and other electronic components. The thesis is divided into two parts.

The first part of the thesis is devoted to the intelligent textiles generally, especially wearable electronics. There are mentioned different ways of use as well as the materials for their creation and necessary components contained.

Experimental part focuses on choosing proper materials and way of conductive paths creation and their endings. Electrical parameters have been researched before and after maintenance. Prototype signalling T-shirt has been made from materials which proved good attributes.

Keywords: smart textiles, wearable electronics, conductive path, demountable conductive link, electric resistance.

# Obsah

<b><u>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ</u></b>	<b>9</b>
<b><u>ÚVOD</u></b>	<b>11</b>
<b><u>1. SMART TEXTILIE = INTELIGENTNÍ TEXTILIE</u></b>	<b>12</b>
1.1 INTELIGENCE	12
1.1.1 UMĚLÁ INTELIGENCE	12
1.2 SMART TEXTILIE	13
1.3 NOSITELNÁ ELEKTRONIKA	19
1.3.1 APLIKACE NOSITELNÉ ELEKTRONIKY	19
1.3.2 SLOŽKY NOSITELNÉ ELEKTRONIKY	23
1.4 VODIVÉ TEXTILNÍ MATERIÁLY	28
1.4.1 VODIVÁ VLÁKNA	29
1.4.2 OSTATNÍ VODIVÉ MATERIÁLY	31
<b><u>2. PRAKTICKÁ ČÁST</u></b>	<b>35</b>
2.1 ZPŮSOBY ZHOTOVENÍ VODIVÝCH DRAH	35
2.1.1 ŠITÍ VODIVÝCH DRAH CU DRÁTKEM A VODIVOU NITÍ	35
2.1.2 TUNÝLEK S VLOŽENÝM CU DRÁTKEM	41
2.1.3 VODIVÁ STUHA	42
2.2 UKONČENÍ VODIVÝCH DRAH	42
2.2.1 UKONČENÍ VODIVÝCH DRAH DRUKY	42
2.2.2 UKONČENÍ VODIVÝCH DRAH SUCHÝMI VODIVÝMI ZIPY	43
2.3 MĚŘENÍ ELEKTRICKÉHO ODPORU	44
2.3.1 ELEKTRICKÉ ODPORY ŠITÝCH VODIVÝCH DRAH TVOŘENÝCH CU DRÁTKEM	45
2.3.2 ELEKTRICKÉ ODPORY ŠITÝCH VODIVÝCH DRAH VYTVOŘENÝCH VODIVOU NITÍ	47
2.3.3 ELEKTRICKÉ ODPORY VODIVÝCH DRAH Z TUNÝLKU S CU DRÁTKEM	51
2.3.4 ELEKTRICKÉ ODPORY VODIVÝCH DRAH Z VODIVÉ STUHY	54
2.4 SIGNALIZACE S VYUŽITÍM LED NA TRIČKU	56
2.4.1 VYTVOŘENÍ VODIVÉHO OBVODU	57
2.4.2 NAPÁJENÍ ELEKTRICKÉHO OBVODU	59

2.4.3 HODNOTY R NA SIGNALIZAČNÍM TRIKU	61
<b><u>ZÁVĚR</u></b>	<b><u>62</u></b>
<b><u>LITERATURA</u></b>	<b><u>64</u></b>
<b><u>SEZNAM OBRÁZKŮ</u></b>	<b><u>68</u></b>
<b><u>SEZNAM TABULEK</u></b>	<b><u>71</u></b>
<b><u>PŘÍLOHA 1</u></b>	<b><u>72</u></b>
<b><u>PŘÍLOHA 2</u></b>	<b><u>77</u></b>
<b><u>PŘÍLOHA 3</u></b>	<b><u>83</u></b>
<b><u>PŘÍLOHA 4</u></b>	<b><u>85</u></b>



## Seznam použitých zkratk a symbolů

Zkratka	Název	Značka, příp. popis
°C	stupeň Celsia	
AAA baterie		mikrotužkové baterie
Ag	stříbro	
Au	zlato	
Cd	kadmium	
cm	centimetr	délková jednotka
Cu	měď	
GPa	gigapascal	
h	hodina	jednotka času
in	inch (palec)	anglická délková jednotka
LED	light emitting diode	
Li-Ion	lithium iontové baterie	
Li-Pol	lithium-polymer	
m	metr	délková jednotka
mAh	miliampérhodina	
ml	mililitr	
mm	milimetr	délková jednotka
MP3	Motion Picture experts group - layer 3 (MPeg layer 3)	
Např.	například	
Ni	nikl	
o/z	otevření/zavření	
PA	polyamid	
PL	polyester	
R	elektrický odpor	$\Omega$
THz	terahertz	
Ti	titan	
Tzv.	tak zvaný	
UV	ultrafialové záření	
V	volt	jednotka napětí

Velcro	suchý zip	
$\Omega$	ohm	jednotka elektrického odporu
$\mu m$	mikro metr	

## Úvod

Vybrané téma jsem si zvolila, protože je pro mne zajímavé, aktuální a má velkou budoucnost.

V dnešní době, kdy nedokážeme konkurovat levné pracovní síle asijských států, je nutné přijít na trh s nějakou novinkou. Neustálý vývoj a výzkum přináší zcela nové možnosti i v textilním průmyslu. Právě nové materiály daly vznik inteligentním textiliím. Ty nám přináší kromě ochranné a estetické funkce i určitou funkci nad komfortní. Jejich prvotní uplatnění bylo v armádě, kde mohl být jejich pomocí např. detekován nebezpečný plyn a později ve zdravotnictví, kde lze např. monitorovat zdravotní stav pacienta. Smart textilie postupně nalézají uplatnění i u široké veřejnosti. Ať už se jedná o materiály, které dokáží odvádět vlhkost od těla, teplo citlivé materiály či o nositelnou elektroniku. Využívají je i různí módní návrháři do svých kolekcí.

Nositelná elektronika, které je práce věnována může být využívána pro zdravotnické účely, k zvětšení bezpečnosti na silnici a k zábavě. Do bund, triček, batohů, rukavic či helem lze zakomponovat senzory, solární články, aktuátory či antény, jimiž lze signalizovat, telefonovat, poslouchat hudbu či nabíjet další zařízení. Tyto komponenty se neustále zmenšují, jsou odolnější a tím je jejich začleňování do oděvu snadnější. Problémem zůstává propojení těchto prvků s vodivou drahou, která uskutečňuje komunikaci uvnitř celého systému.

Cílem této práce je seznámení s tímto odvětvím textilu, s jeho možnostmi využití a základními principy různých druhů inteligentních textilií. Dále zkoušením různých materiálů vybrat vhodné pro tvorbu a propojení vodivých drah v nositelné elektronice. Z daného materiálu bude vyhotoven prototyp signačního trika, pro vyzkoušení elektrického obvodu.

# 1. Smart textilie = Inteligentní textilie

Inteligentní textilie jsou nositelem umělé inteligence. Dokáží nést signál, zaznamenat určité podněty a případně na ně i reagovat. Představují novou generaci pro textilní průmysl.

## 1.1 Intelligence

Tento latinský pojem znamená v překladu rozlišovat, chápat, poznávat. Intelligence představuje schopnost rozumově řešit různé nově vzniklé situace.

Definicí intelligence je spousta. V následujících řádcích je ukázka některých z nich [1].

*„Intelligence je všeobecná schopnost individua vědomě orientovat vlastní myšlení na nové požadavky, je to všeobecná duchovní schopnost přizpůsobit se novým životním úkolům a podmínkám.“* (Němec Wiliam Stern)

*„Intelligence je vnitřně členitá a zároveň globální schopnost individua účelně jednat, rozumně myslet a efektivně se vyrovnávat se svým okolím.“* (Američan David Wechsler)

*„Intelligence je schopnost zpracovávat informace. Informacemi je třeba chápat všechny dojmy, které člověk vnímá.“* (J. P. Guilford)

### 1.1.1 Umělá intelligence

Umělá intelligence je relativně nový pojem, který spojuje poznatky kybernetiky, logiky, matematiky, teorie algoritmů, informatiky, biologie, neurologie, lingvistiky a dalších vědních oborů [1].

*„Umělá intelligence je věda o vytváření strojů nebo systémů, které budou při řešení určitého úkolu užívat takového postupu, který – kdyby ho dělal člověk – bychom považovali za projev jeho intelligence.“* (Minsky, 1967)

*„Umělá intelligence se zabývá tím, jak řešit počítačové úlohy, které dnes zatím zvládají lidé lépe.“* (Rich Knight, 1991)

## 1.2 Smart textilie

Smart či inteligentní textilie jsou textilie, které cítí vnější tepelné, chemické, mechanické, elektrické, magnetické podněty a zářivé působení a reagují na ně, případně se jim přizpůsobují.

Podle reakce na podněty lze smart textilie rozdělit na:

- Pasivní.
- Aktivní.
- Very smart materials.
- Sebe–určující, samo–učící, předvídající – tato skupina je však velká vize budoucnosti.
- Inteligentní textilie jako součást umělé inteligence.

***Pasivní textilie*** – jsou to textilie tzv. první generace. Mají pouze senzory k zaznamenání změn vnějších podmínek a podnětů. Do této skupiny patří optická vlákna, která se využívají k měření a monitorování teploty a tlaku. Dále biologické tkáně a orgány a bioaktivní materiály.

***Aktivní textilie*** – je to tzv. druhá generace inteligentních textilií. Mají senzory pro snímání změny vnějších podnětů a aktuátory. Aktuátory slouží k reakci na podnět, a to buď přímo, nebo prostřednictvím řídicí jednotky. Reakcí může být například změna barvy, tvaru, elektrické vodivosti nebo změna fáze. Do této skupiny patří textilie s chameleonním efektem, teplo generující (nebo ukládající) textilie nebo vlákna, teplosenzitivní inteligentní membrány a textilie s tvarovou pamětí.

***Very smart materials*** – tzv. třetí generace inteligentních textilií. Tato generace změny vnějších podnětů nejen zaznamená a reaguje na ně, ale je schopná jim přizpůsobit svou funkci.

***Inteligentní textilie jako součást umělé inteligence*** – to jsou pasivní textilie ve formě nositelné elektroniky. Jsou tvořeny nosičem elektronických součástí a externím systémem umělé inteligence. Inteligentní textilie slouží jako nosič komunikace elektronických přístrojů, což mohou být mobilní komunikační přístroje, GPS moduly, mobilní počítače či přístroje k monitorování člověka. Tyto textilie musí zároveň zajišťovat dostatečný komfort.

Nejprve se smart textilie, stejně jako ostatní odvětví, vyvíjely pro armádní účely, kde se využívají zejména pro ochranu před kolísajícími klimatickými podmínkami, pro ochranu před bakteriemi a viry či k identifikaci polohy a nebezpečí.

Dalším odvětvím, kde se smart textilie rychle rozšířily, bylo lékařství. Zde se využívají k monitorování životních funkcí, pozorování pacientů a bezpečnosti pacientů.

V dnešní době se inteligentní textilie dostávají stále více do popředí a trůfám si říci, že v průběhu několika let se stanou nepostradatelnou součástí našich životů.

Způsoby jak inteligentní textili získáme, jsou následující:

- Použitím nových materiálů a struktur.
- Aktivací povrchů.
- Konstrukcí nových materiálů a struktur s vložením známých základních složek. [2, 3, 4, 5, 6]

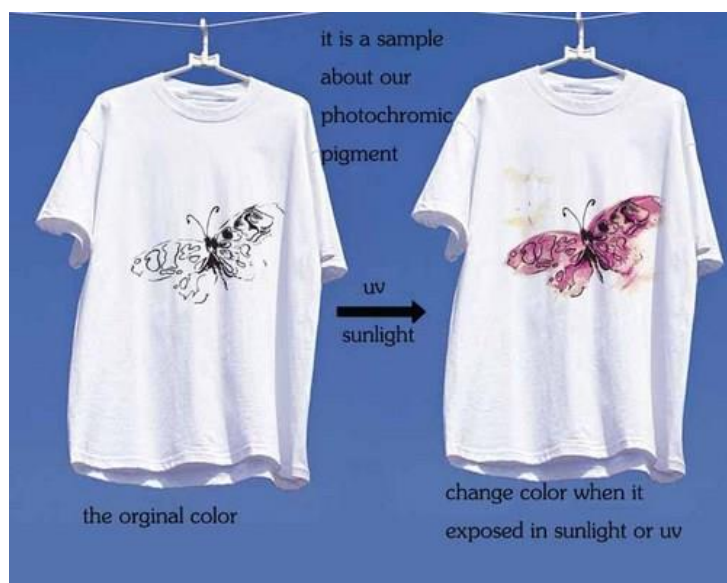
### **Chromní materiály**

Chromní materiály mění vratně svoji barvu, příp. vyzařují či pohlcují části barevného spektra. Díky barevné změně jsou nazývány jako chameleonské materiály. Tento jev je vyvolán vnějším podnětem. Obecně můžeme chromní materiály klasifikovat jako závislé na změně okolního prostředí, podle ní jsou rozděleny na:

- Termochromní – reagují na změnu teploty.
- Fotochromní – reagují na změnu intenzity světla.
- Elektrochromní – reagují na změnu elektrického proudu.
- Piezochromní – reagují na změnu tlaku.
- Solvatochromní – reagují na změnu polaritu rozpouštědla.
- Karsolchromní – reagují na ozáření elektronovým svazkem.

Chromní materiály byly zkoumány již dříve než v roce 1900. Nejčastěji se pro aplikace využívají fotochromní, termochromní a elektrochromní např. barvy, inkousty, tiskací pasty a optické aplikace. Pro textilní materiály se využívají fotochromní a termochromní skupiny.

U fotochromných materiálů je změna vyvolána světlem. Tyto materiály mohou být organické i anorganické. Na tmavém místě jsou obvykle bezbarvé, po vystavení slunečnímu nebo UV záření je barva viditelná. Když je světelný zdroj odstraněn, barva opět zmizí. Využití nalezneme například v samozabarvovacích brýlích či na potiscích na trička, na obr. 1.2.1.



Obr. 1.2.1 – triko s fotochromním potiskem před a po vystavení UV nebo slunečnímu záření [31].

U termochromných materiálů je vratná barevná změna vyvolána změnou teploty, která je předem stanovená - jedná se o tzv. termochromický přechod. Používají se zde enkapsulační barviva, která byla vynalezena v roce 1970 a následně patentována japonskou firmou. Pro výrobu termochromných pigmentů se používají organické a anorganické směsi, polymery a sol-gely. Aplikace těchto materiálů zajišťují spoustu funkcí od zábavních až po ochranné, příkladem jsou teplocitlivé látky, na obr. 1.2.2. Využívají se například pro dětské oblečení, které kontroluje teplotu miminka. Dále to mohou být hračky, dětské lžičky a hrníčky [2, 4, 5].



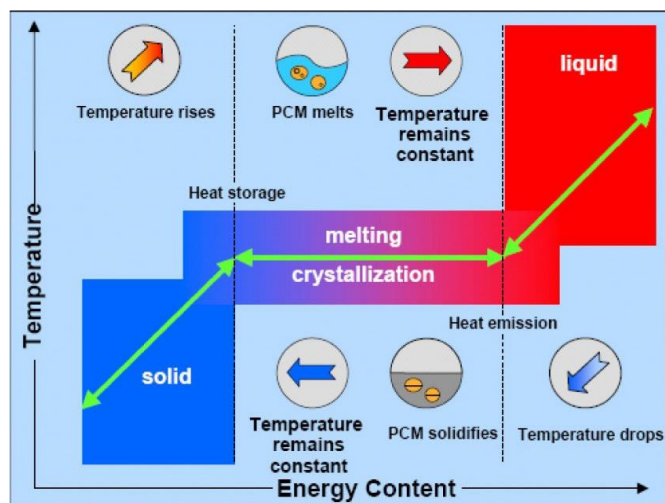
Obr. 1.2.2 – látka s termochromním barvivem při zahřívání a po zahřátí teplotou lidské dlaně [32].

### **Materiály měnící fázi (Phase change material - PCM)**

První materiály měnící fázi, byly vyvinuty v roce 1980 vesmírným výzkumným programem NASA, sloužily k ochraně astronautů před obrovskými teplotními výkyvy.

Materiály měnící fázi jsou vlastně jakási tepelná uložistě, která jsou využívána k regulaci teplotních výkyvů. Tají a tuhnou při určité teplotě, jsou schopné ukládat a uvolňovat velké množství energie. Teplo je přijímáno a uvolňováno, když dochází ke změně z pevné do kapalné fáze a naopak. Při fázové změně pevný – kapalný se materiál chová jako „skladiště“ tepla. Pokud okolní teplota stoupá, materiál teplo absorbuje až do stádia, kdy teplota vzroste na teplotu tání. Naopak pokud okolní teplota klesne, materiál ztuhne a uvolňuje uschované teplo, viz obr. 1.2.3. Teplotní rozsah u obvyklých PCM materiálů je od -5 do 190°C. Ukládají 5 až 14 krát více tepla na jednotku objemu než např. voda, zdivo či kámen.





Obr. 1.2.3 – znázornění změn skupenství u PCM [32].

V textilu se využívá technologie začlenění mikrokapsule na textilní povrch. Ta může být buď obsažena v povlakové směsi jako je akryl či polyuretan a aplikována do textilie nebo mohou být zamíchány do polyuretanové pěnové matice a ta nalaminována na textílii. Dalším technologickým postupem je začlenění do akrylových vláken při předení.

Využití těchto materiálů je zejména pro sportovní oděvy, kde je velmi důležité, aby splňovali i podmínky fyziologického komfortu [2, 4].

### Materiály s tvarovou pamětí (SMM)

V roce 1932 byla objevena první Au-Cd slitina s tvarovou pamětí švédským fyzikem Arne Olandrem.

Materiály s tvarovou pamětí mohou v důsledku vnějšího podnětu změnit svůj tvar z dočasně zdeformovaného do dříve naprogramovaného. Tato změna je nejčastěji vyvolána změnou okolní teploty, ale u určitých materiálů také tlakem, magnetickým a elektrickým polem, hodnotou pH a UV zářením. Tvarovou paměť mají nejrozličnější slitiny, keramiky, polymery a gely. Nejznámějším materiálem je v dnešní době slitina Ni-Ti, komerčně nazývaná Nitinol. Ta byla objevena v roce 1960, vědeckým týmem US Naval Ordnance laboratoře. Na obr. 1.2.4 je košile „Oricalco“, která mění svůj tvar podle teploty a dá se žehlit pouhým proudem teplého vzduchu [2, 4].



Obr. 1.2.4 – „Oricalco“ košile z tkaniny z NiTinolu [33].

### **Inteligentní bariérové textilie**

Mezi inteligentní textilie patří i moderní bariérové textilie. Komfort oděvních materiálů je jeden z nejdůležitějších kritérií jak pro zákazníka, tak i pro výrobce. Starší systémy oděvů se skládaly z bavlněného spodního prádla, bavlněné košile a nepropustné ochranné vrstvy. Ten ale nemá dobré fyziologické vlastnosti - nedýchá. Moderní systémy se skládají ze tří vrstev, a to funkčního spodního prádla, tepelně izolační vrstvy a ochranné vrstvy. Inteligentní bariérové textilie, např. Sympatex, Gore-tex, tvoří ochrannou vrstvu. V současné době jsou vyvinuty i fleece materiály, které mají membránu a tak ochrannou funkci zajišťuje již vrstva tepelně izolační.

Moderní oděvní materiály musí ochraňovat organismus proti chladu, musí mít nízkou propustnost vody, ale zároveň vysokou propustnost vzduchu a vodních par. Propustnost vodních par, která souvisí s komfortem oděvních materiálů, je závislá hlavně na rozdílu parciálních tlaků na vnější a vnitřní straně oděvu. V případě, kdy je parciální tlak na vnější straně oděvu větší než na straně vnitřní, vlhkost přichází do oděvu. Z tohoto důvodu je nejlepší využívat tyto oděvy v teplotách od 0°C do 10 °C. Pokud nastane nulový rozdíl, nedochází k průchodu par a oděv působí jako pláštěnka [7, 8].

## 1.3 Nositelná elektronika

Nositelná elektronika patří do skupiny inteligentních textilií, které jsou součástí umělé inteligence. Stejně jako ostatní odvětví inteligentních textilií byla nejdříve vyvíjena pro vojenský průmysl. Dalším odvětvím, kde našla uplatnění, je medicína. Zde se využívá k monitorování životních funkcí pacienta a existuje řada ochranných a bezpečnostních pomůcek, které mu zpříjemní život.

V dnešní době se s nositelnou elektronikou již můžeme setkat v běžném životě a to zejména ve sportovních oděvech. Jedná se většinou o funkci zábavní. Příkladem je začleněný MP3 přehrávač, GPS modul či mobilní přijímač do sportovní bundy, nebo lyžařská či snowboardová helma, v níž jsou vložena sluchátka a MP3 přehrávač. Další funkce může být komfortní, jako jsou vyhřívané lyžařské rukavice, na obr. 1.3.1, kdy sensor v nich umístěný zaznamenává vnější teplotu a podle ní reguluje topení.



Obr. 1.3.1 – vyhřívané rukavice [34].

V současné době se nositelnou elektronikou zabývá již spousta firem, v Čechách je to firma Applycon s.r.o., ve Velké Británii firma Eleksen či firma SCOTTeVEST [2, 3, 6].

### 1.3.1 Aplikace nositelné elektroniky

Aplikace nositelné elektroniky je v dnešní době velmi široká, z využití pro vojenský průmysl, se již rozrostla do běžného života, kde plní funkci spíše zábavní. V následujících odstavcích je uvedeno několik příkladů jejího uplatnění.

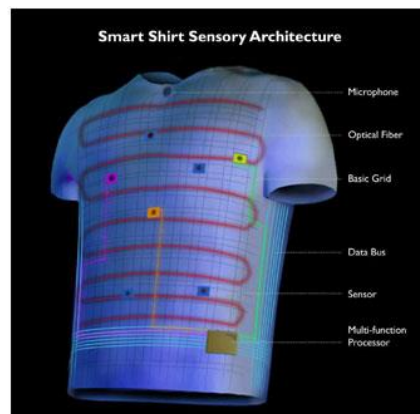
#### Inteligentní košile

Ve výzkumném ústavu Georgia Tech byl v roce 2006 navržen prototyp inteligentní košile (obr. 1.3.1.1), která byla zhotovena pro vojenské účely k detekci

zranění a k monitorování zdravotního stavu vojáků. Je vyrobena z tkaniny z polymerových optických vláken. Přesně určuje polohu fyzikálního problému na těle a informaci v několika sekundách odešle. U této košile je možné nastavovat čidla podle požadavků uživatele např. senzory k zjišťování kyslíku a jiných nebezpečných plynů, senzory ke sledování rychlosti dýchání a tělesné teploty apod. Tento prototyp komerčně vyrábí firma Sensatex (obr. 1.3.1.2) a běžně se využívá v lékařství k monitorování nemocných a kojenců, ve sportu k monitorování atletů a také pro vojenské účely [8].



Obr. 1.3.1.1 – prototyp inteligentní košile  
[8].



Obr. 1.3.1.2 – inteligentní košile Sensatex  
[8].

## Inteligentní podprsenka

Podprsenka byla vyvinuta na De Monfortské univerzitě. Toto elektronické zařízení je založeno na průchodu elektrického proudu poprsím a jejím přínosem je rychlá diagnostika nádorových onemocnění prsou. Podle provedených výzkumů má nádorová tkáň vyšší odpor, ten můžeme zjistit citlivými přístroji. Pomocí měření poprsí pod různými úhly vytvoříme tomogram nádoru.

Další typ podprsenky, na obr. 1.3.1.3, který byl vyvinut na univerzitě Wollongongu, je spíše komfortní záležitost. Tato podprsenka mění vlastnosti v závislosti na pohybu poprsí. Je určena spíše pro aktivní ženy a tvoří jim podporu při jejich aktivitě. Funguje na principu uvolňování a přitahování pásky, vyztužení či změkčení košíčků, což omezí pohyb poprsí a zabráňuje bolesti či poklesu poprsí. Podprsenka je vyrobena z vodivých polymerů, může měnit svou pružnost podle vyvíjených tlaků. Je schopná okamžitě napnout či uvolnit své pásky nebo zpevnit košíčky, když dojde k nadměrnému pohybu [3, 5].



Obr. 1.3.1.3 – podprsenka pro komfort [5].

### **Cyklistická bunda signalizující brždění i změnu směru jízdy**

Technická univerzita v Liberci společně s několika českými firmami vyvinula bundu pro cyklisty, na obr. 1.3.1.4, která umí signalizovat změnu směru jízdy nebo brždění.

Celý tento systém je řízen řídicí elektronikou, která se skládá ze dvou modulů. První modul je připevněn na řídítkách a slouží k ovládání systému cyklistou, pokud chce cyklista odbočit, zmáčkne příslušné tlačítko a signalizace se spustí. Po vykonání opět zmáčkne tlačítko a dojde k ukončení signalizace. Tento modul je bezdrátově spojen s modulem druhým (přijímačem), který je umístěn na zadní straně oděvu. Přijímač je propojen se světelným systémem, diodami obr. 1.3.1.5, které jsou začleněny do bundy. Ty jsou umístěny tak, aby je případně nepřekrýval batoh a pro kontrolování jejich funkčnosti cyklistou i na přední straně bundy. Výdrž systému je cca 14 hodin.

Toto zařízení nemá sloužit jako náhrada předpisů pro cyklisty ale jako podpůrný ochranný systém. [9]



Obr. 1.3.1.4 – cyklistická signalizační bunda [9].



Obr. 1.3.1.5 – signalizační systém [9].



### **Solární batoh**

Solární batoh, na obr. 1.3.1.6, umožňuje neomezené cestování s přístroji bez nutnosti přístupu k elektrické energii. Lze dobít jakýkoliv přístroj napájený 5 V nebo 12 V, to jsou např. navigace, mobilní telefon, MP3 přehrávač, monočláanky, fotoaparát a kamera. Vestavěná Li-Pol baterie o kapacitě 3000 mAh je dobíjena monokrystalickými články o výkonu 4 W. Baterii lze kromě solární energie dobít i z jakéhokoliv 12 V zdroje.

Batoh je voděodolný a solární články zatavené v tvrdé transparentní folii, díky níž snesou i hrubší zacházení [10].

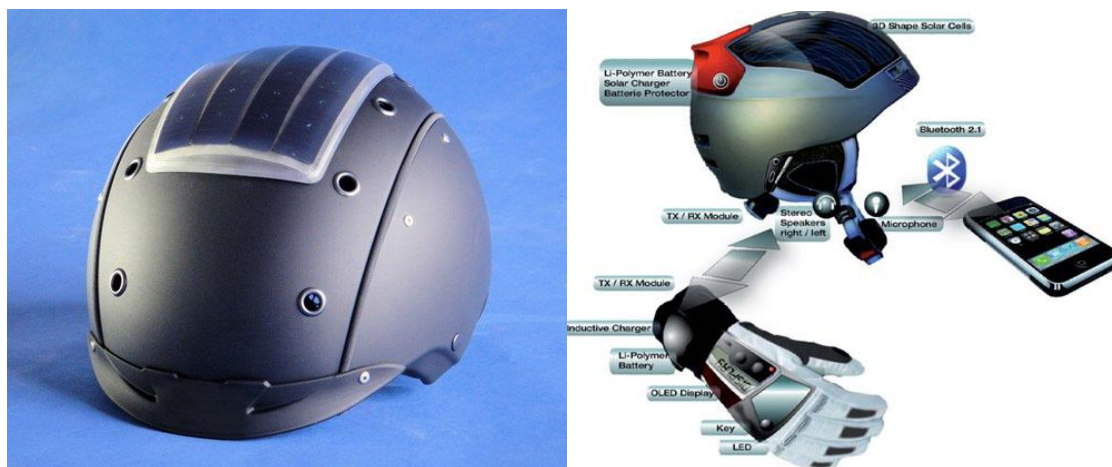


Obr. 1.3.1.6 - solární batoh firmy Voltaic systém [10].

### **Lyžařská helma**

Německá společnost TEXSYS ve spolupráci s německou Technickou univerzitou vytvořila lyžařskou helmu, na obr. 1.3.1.7, s níž je možné telefonovat a poslouchat hudbu. Ve vnitřku helmy jsou zabudována sluchátka a mikrofon, které jsou pomocí bluetooth 2.1 propojená s MP3 přehrávačem či mobilním telefonem. Maximální vzdálenost mezi propojenými zařízeními je 10 m. Rukavice slouží k ovládání celého systému. Pomocí nich můžeme např. odpovědět na příchozí hovor nebo přepínat mezi písničkami. Toto je velmi výhodné při sportování. Automatický vypínací systém zastaví přehrávání hudby, když telefon zazvoní. Výdrž baterie v pohotovostním režimu je až 240 h, pokud je zařízení používáno, pohybuje se okolo 10 h. Na vrchní straně helmy je zabudován solární článek, který uživateli umožňuje pohybovat se bez nabíječky. Systém prošel testováním ve velmi drsných podmínkách.

Helmu lze použít nejen k lyžování či snowboardingu ale také k jízdě na koni, na kole či na bruslích [11].



Obr. 1.3.1.7 – lyžařská helma společnosti TEXSYS [11].

### 1.3.2 Složky nositelné elektroniky

Nositelná elektronika musí obsahovat elektrický obvod, to znamená propojení elektrických součástek do funkčního systému. Elektrickými součástkami mohou být senzory, aktuátory, transistory, zdroje energie a jednotky pro zpracování dat, aby došlo k přeměně a přenosu energie a informací. Tyto součásti musí být z vhodného materiálu, měly by být pohodlné a odolné vůči opotřebení a běžné údržbě.

#### Senzory

Senzory neboli čidla či snímače, slouží ke zjišťování signálu a zároveň ho transformují na signál jiného typu, většinou elektrický. Z tohoto důvodu jsou při konstrukci smart textilií nezbytné elektro vodivé materiály. Při návrhu nových senzorů je velmi důležité vytvořit hlediska transformace, která zvládne převést měřený signál na takový signál, u kterého je dále možnost ho zpracovávat. Mimo technických požadavků je nutnost brát zřetel na funkce, které by měl textilní materiál splňovat a to jsou např. pružnost, splývavost, odolnost proti deformacím, proti záření a odolnost při praní [3, 12].

Materiálů, které mají schopnost transformovat signál, je spousta, v následujícím odstavcích je jich několik představeno.

### Termočlánek

Termočlánek je senzor teploty. Dochází zde k přeměně tepelného signálu na elektrický. Pracuje na principu termoelektrického jevu. Skládá se ze dvou odlišných spojených kovů. Pokud je na každém konci spoje jiná teplota, vzniká elektrický proud [13].

### Tlakové senzory

U tlakové senzorů dochází ke změně odporu v závislosti na tlaku, čímž dochází k přechodu z mechanického signálu na signál elektrický.

Quantum Tunneling Composite (QTC) – v roce 1996 zakladatelé společnosti Peratech Limited, David a Chris Lussey, vynalezli elektricky vodivý materiál s unikátními vlastnostmi. Dokáže se chovat jako izolant a zároveň i jako velmi dobrý vodič. Pokud na materiál není vyvíjen tlak, je to téměř dokonalý izolátor, jakmile začne působit tlak, změní se na vodič. Při dostatečném tlaku může dosáhnout až hodnot vodivosti kovů. Lze ho využít jako snímače či přepínač. Tento kompozitní materiál je vyroben z vodivé části v kombinaci s elastomerním pojivem. Aktivní polymerní vrstva může být nanášena na tkaninu, pleteninu či netkanou textilii povrstvením a impregnací. Využití v nositelné elektronice našel např. jako ovládací panel pro smart bundu obr. 1.3.1.8 [12, 14].

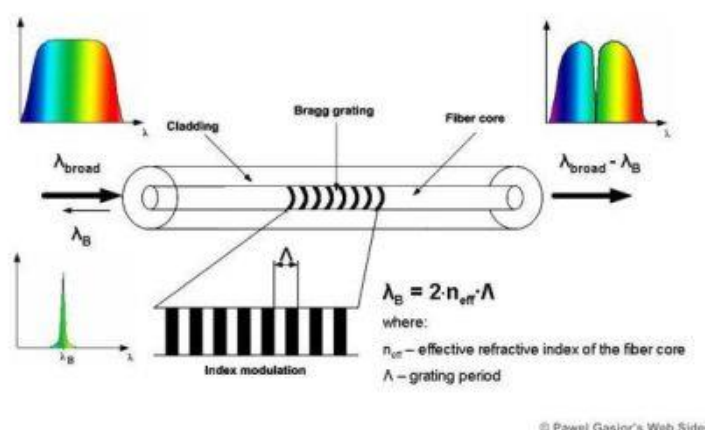


Obr. 1.3.1.8 – ovládací panel smart bundy se snímačem z QTC [15].

Vlákněná Braggova mřížka – u tohoto typu dochází k přeměně mechanického či tepelného signálu na signál optický a následně elektrický. Jedná se o optické vlákno,



v kterém při jeho výrobě byla vytvořena Braggova mřížka, na obr. 1.3.1.9, v současné době nejčastěji vytvořena UV laserem. Čidlo pracuje na principu odrazu světla na mřížce složené z mnoha částí s různou optickou hustotou. Část světla projde a část se odrazí, to je charakteristické pro danou periodu mřížky. Pokud dochází k mechanickému či teplotnímu působení, mřížka změní periodu, čímž se změní specifické spektrum. Lze i zjistit jak se optické vlákno natáhlo či smrštilo. Tuto informaci vypočítávají z naměřených spekter různé akční členy a jejich výstupem je elektrický signál [16].



Obr. 1.3.1.9 – princip Braggovy mřížky [16].

Doposud žádné textilní materiály sami o sobě neumí data zpracovávat, a proto se využívá elektronických dnes již pružných a miniaturizovaných součástí [11].

## Aktuátory

Aktuátory neboli ovládací prvky reagují na informace získané ze senzorů nebo na zpracovaná data. Jejich funkcí je přeměna vstupního signálu na signál výstupní. Takovýmto prvkem může být LED (obr. 1.3.1.10), tedy elektronická polovodičová součástka, vyzařující viditelné světlo.

První LED vyzařující elektromagnetické vlny ve viditelné části spektra byla vyvinuta v roce 1962 na americké University of Illinois at Urbana-Champaign. Spektrum jí vyzařovaného světla je závislé na chemickém složení polovodiče. U LED záleží na polaritě zdroje. V případě opačného zapojení nebude diodou procházet žádný proud a ta nebude tedy ani svítit. Její životnost se pohybuje v rozmezí statisíců až milionů hodin [17].



Obr. 1.3.1.10 – LED [17].

## **Akumulátory**

I u inteligentních oděvů je potřeba zařízení, které dovede skladovat data či energii. Nejdůležitějším kritériem pro akumulátory ve smart oděvech je minimální energetická spotřeba a malý rozměr.

Některé zdroje energie jsou uvedeny v následujících odstavcích.

### **Baterie**

Baterie (energie ze zásobníku) stále patří mezi nejhlavnější zdroje energie. Klasické baterie jsou těžké a obtížně umístitelné dovnitř oděvu, z tohoto důvodu se dává přednost novým čím dál tím menším, lehčím a ohebnějším variantám. V současné době je nejdostupnějším řešením využití Li-Ion baterií či jiných miniaturizovaných baterií [3, 12].

### **Tělesná teplota**

Vlivem teplotního rozdílu mezi lidským tělem a okolím dochází ke vzniku elektrické energie [3, 12].

### **Mechanická energie**

Mechanická energie složená ze dvou složek a to elastická, která vzniká při deformaci textilie a kinetická z pohybu těla nositele [3, 12].

### **Solární energie**

Ohebný fotoelektrický panel je umístěn na oděvu. V současné době je prováděna celá řada výzkumů zaměřujících se právě na výzkum flexibilních solárních článků vhodných pro začlenění do oděvu, doposud ale nebyl vynalezen panel, který by mohl být jeho pevnou součástí [3, 12].

### **Komunikace a spojení uživatele s nositelnou elektronikou**

Komunikace uživatele s oděvem může probíhat různými způsoby. Informace přenášíme:

- Uvnitř jedné části systému.
- Mezi jednotlivými částmi systému.
- Mezi uživatelem a oděvem – u tohoto případu dochází k zadání informací.
- Mezi uživatelem a okolím.

Komunikace uvnitř oděvního systému je realizována pomocí optických nebo vodivých přízí, kovovými drátky či vodivými stuhami. Tyto media jsou buď vetkáním, vpletením, či vyšitím vloženy do textilních materiálů. U optických přízí je nevýhoda toho, že jejich signál musí být minimálně jednou přeměněn na signál elektrický [3, 12].

V roce 2010 byl na fakultě textilní, Technické univerzity v Liberci proveden výzkum, který se zabýval tvorbou vodivých drah na oděvech a jejich údržbou. Cílem bylo zvolit vhodný druh materiálu pro tvorbu drah. Tento materiál by měl mít co možná nejmenší elektrický odpor, který by se neměl měnit ani po praní, žehlení či chemickém čištění. Byly zvoleny dva druhy materiálu. První byla vodivá nit – postříbřený PA, druhý byl měděný drátek o průměru 0,118 mm. Klasickým šicím způsobem, stehy třídy 301, 401, 602, byly vytvořeny vodivé dráhy. Jako porovnávací vzorek byla použita komerčně prodávaná vodivá stuha z měděných drátků. U všech tří druhů byl změřen elektrický odpor. Poté byly zkušební vzorky o délce 20 cm pětkrát vyprány a vyžehleny, a znovu naměřen elektrický odpor. Díky tomuto výzkumu bylo zjištěno, že pro tvorbu vodivých drah je nevhodný steh třídy 602 a to z důvodu ohýbání nitě, čímž dochází k poklesu stříbrného nánosu a zvýšení elektrického odporu, ten byl zhruba desetkrát

větší než při použití měděných drátků. U ostatních tříd stehů už nedošlo k velkým změnám hodnot. U zakoupené pásky se elektrický odpor nezměnil. Výzkum se dále zabýval ukončením vodivé dráhy. Jako nejvhodnější bylo zvoleno zakončení pomocí druků. Vodivý šicí materiál je propojen s drukem pomocí kruhové výšivky okolo něj, jak je vidět na obr. 1.3.1.11 [18].



Obr. 1.3.1.11 – propojení druku s vodivou drahou [18].

Komunikaci uživatele a oděvu nám umožňují např. textilní ohebné obrazovky, které jsou vyrobeny z optických vláken. Dalším příkladem jsou textilie citlivé na tlak, kdy vyvíjeným tlakem vložíme informaci, která je poté převyhodnocena na příkaz.

Dalším způsobem je spojení bezdrátové pomocí integrované antény, která slouží pro přenos informací s okolím. Zde se využívá vodivých přízí, nejčastěji ve složení mědi a nylonu [3, 12].

## 1.4 Vodivé textilní materiály

Výhody použití vodivých textilních materiálů v systémech umělé inteligence oproti jiným materiálům jsou uvedeny v následujících bodech:

- Nízká hmotnost.
- Veliký měrný povrch.
- Snadná běžná údržba (praní a žehlení).
- Dostatečná pevnost a pružnost, schopnost deformace.
- Snadné spojování a rozebírání spojů (šitím a páráním).
- Jednoduchá tvarovatelnost bez složitých změn v technologii (záševky a záložky).
- Relativně nízká cena v porovnání s jinými technologiemi.

Vytvoření elektrických obvodů na materiálu můžeme dosáhnout různými výrobními procesy. Jedním z nich je potištění povrchu speciálními vodivými inkousty. Dalším způsobem jsou vodivá vlákna, z kterých jsou buď tkaním, pletením nebo šitím vytvořeny vodivé dráhy [2, 3].

Při použití vodivých inkoustů, oproti vodivým drahám, máme jistotu, že vodivost bude rozložena po celé ploše materiálu. V případě jejich využití máme zajištěné komfortní vlastnosti, nedochází k porušení a praskání jako u vodivých drah. Můžeme k nim snadno zapojit různá zařízení. Nejčastěji jsou vyráběny na bázi stříbra, uhlíku nebo vodivých polymerů, takovou textilií můžeme vidět na obr. 1.4.1 [19].

Při tkaní či pletení lze využít klasické tkací či pletací stroje, u nichž je provedena požadovaná technická změna k výrobě vodivých drah. Využívají se žakárové či rapírové tkací stavy. Jako vodivé příze se nejčastěji používají ocel, měď a postříbřený PL a PA [2].



Obr. 1.4.1 – textilie s vodivým inkoustem [19].

### 1.4.1 Vodivá vlákna

Při zhotovování vodivých drah, které jsou vytvořeny vetkáním, vpletením nebo šitím, se používají vodivá vlákna. Ta mohou být v různých formách. Využívají se buď standardní vlákna (např. PA, PL), která jsou povrchově upravena (nejčastěji postříbřená), nebo se používají vlákna kovová a uhlíková polymerní vodivá vlákna.

#### Vlákna povrchově upravená neboli metalizovaná

K povrchové úpravě vláken se nejčastěji využívá stříbro a měď, ale můžeme použít i jiné kovy, např. zlato, platinu a nikl. Metalizování může být provedeno vakuovým napařováním, nanášením plazmou a galvanickým pokovováním. Problémem u těchto vláken je kroucení a ohýbání, čímž dochází k porušení a oddělení kovové vrstvy a následnému zvýšení elektrického odporu.

## **Kovová vlákna**

Kovová vlákna mají výbornou elektrickou vodivost, jsou ohnivzdorné a odolávají chemikáliím. Díky svým vlastnostem mají širokou škálu využití v technických aplikacích.

Silnější kovová vlákna jsou vyráběna tažením za tepla nebo za studena. Pro vlákna o průměru zhruba  $10\ \mu\text{m}$  se využívá tzv. Taylorova procesu. Vlastnosti některých kovových vláken jsou uvedeny v následujících odstavcích.

### **Měděná vlákna**

Měděná vlákna mají výbornou elektrickou vodivost. Vyrábějí se technologií tažení za studena. Jejich bod tání je  $2083\ ^\circ\text{C}$ , pevnost  $0,45\ \text{GPa}$  a modul pružnosti  $310\ \text{GPa}$ .

### **Ocelová vlákna**

Ocelová vlákna mají výbornou elektrickou vodivost. Vyrábějí se technologií tažení za studena, díky níž získají vyšší pevnost a nižší kujnost. Bod tání u oceli je  $1300\ ^\circ\text{C}$ , pevnost  $4\ \text{GPa}$  a modul pružnosti  $210\ \text{GPa}$ .

## **Uhlíková vlákna**

Vyrábějí se především z předoxidovaného polyakrylonitrilonu, dále ze smol dehtu nebo viskózních vláken. Prvním procesem při výrobě uhlíkového vlákna je stabilizace, ta je prováděna působením tahového napětí při teplotách  $220 - 300\ ^\circ\text{C}$ . Dalším procesem je karbonizace, prováděná při teplotách  $1000 - 1500\ ^\circ\text{C}$ , tím se odstraní vodík a klesne množství dusíku a kyslíku. Poté následuje grafitizace při teplotě  $1800 - 3000\ ^\circ\text{C}$ , čímž se zvýší množství uhlíku. Celý proces je prováděn v inertní atmosféře. Vlákna mají nízkou hmotnost, jejich pevnost je  $1,3 - 3\ \text{GPa}$  [2, 20].

## Optická vlákna

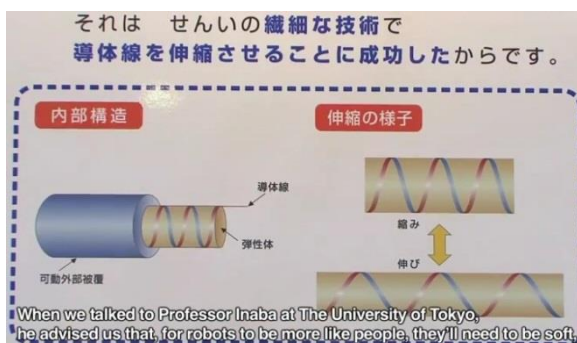
Optická vlákna zaznamenávají změny vnějšího prostředí. Používají se pro přenos optického signálu, k přenosu informací o změnách teploty, mechanického namáhání, magnetického pole a k získání informací o přítomnosti chemických látek. Jsou vyrobena buď na bázi křemíku, nebo speciálních polymerů. Pro účely inteligentních textilií se využívají tzv. vlákna gradientní. U tohoto typu nenajdeme rozhraní mezi jádrem a pláštěm, protože jednotlivé skloviny jsou v sobě rozpuštěny. Tím je dosaženo gradientního indexu lomu, díky tomu se světlo ve vláknech nešíří totálním odrazem ale ohybem světla. Gradientní vlákna dovolují vyšší přenosové rychlosti [21].

### 1.4.2 Ostatní vodivé materiály

V současné době je vyvinuta celá řada materiálů, vhodných pro začlenění do nositelné elektroniky.

#### Elektrický pružný kabel ROBODEN

Na mezinárodní výstavě Robot 2011 předvedla asijská firma Asia Kasei Fibers, elektricky pružný kabel ROBODEN, na obr. 1.4.2.1. Tato firma je také výrobcem SPANDEXU, což je velmi pružné polymerové vlákno. ROBODEN je vytvořen z vodiče stočeného do spirály, která je pokryta a chráněna SPANDEXEM. Tento kabel může být natáhnut 1,5 krát, stejně jako povrch lidské kůže, a má výborné ohybové a kroutící vlastnosti. Využití tohoto kabelu může být v robotice jako umělá kůže robotů. Dalším odvětvím, kde by se mohl uplatnit, je nositelná elektronika ve sportovních a ochranných oděvech [22].

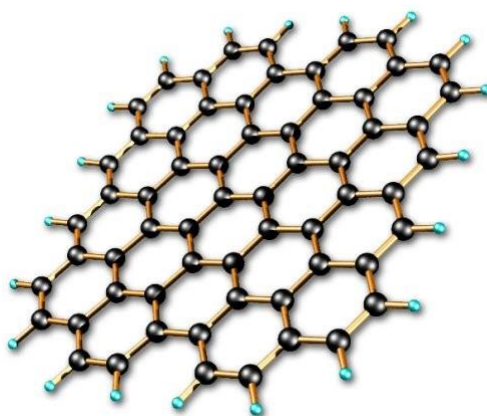


Obr. 1.4.2.1 – elastický pružný kabel ROBODEN [22].

## Grafen

Grafen, na obr. 1.4.2.2, byl objeven v roce 2004 profesory Andre Geimem a Konstantinem Novoselovem, a je to určitě materiál příští generace, pro výrobu elektroniky.

Grafen je materiál, strukturou podobný grafitu, složený z jedné nebo dvou atomárních vrstev atomů uhlíku, ty jsou uspořádány do pravidelného šestiúhelníku. Jednoatomární vrstva má vysokou vodivost. Dvouatomární vrstva má vlastnosti polovodiče a lze z ní vyrobit tranzistory, které mohou pracovat až na frekvenci 1 THz. Grafen je velmi tenký a zároveň velmi pevný. Je také propustný pro světlo a lze ho využít např. pro výrobu displejů [23].



Obr. 1.4.2.2 – struktura grafenu [23].

## Vodivé zipy

V současné době se několik firem zabývá výrobou vodivých suchých zipů. Pásky, obr. 1.4.2.3, jsou zhotoveny z postříbřených nylonových vláken. Vyrábějí se v různých šířkách. Předpokládaný počet cyklů otevření/zavření udávaný výrobcem je 5000, tloušťka zipu je 0,32 mm. Dají se upevnit šitím, lepením a přicvaknutím sešíváčkou. Příkladem aplikace v nositelné elektronice je batoh, který spustí signalizaci, pokud někdo otevře danou kapsu nebo zimní bunda, která po uzavření suchého zipu automaticky spustí ohřívač. Tyto zipy se dají využít i pro stínění na taškách, kapsách, stanech, domácím textilu i oděvech [24, 25].

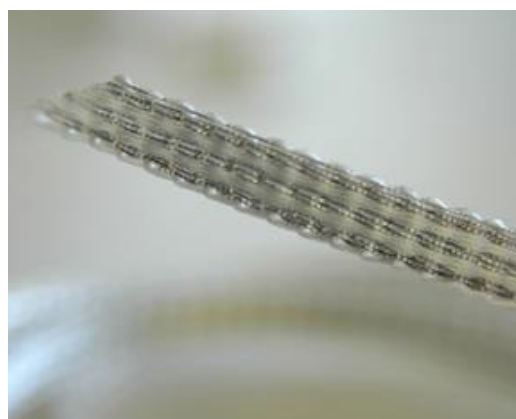
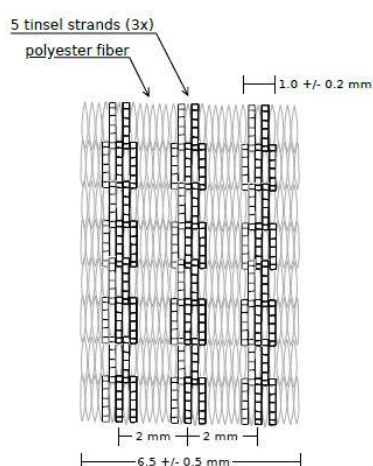




Obr. 1.4.2.3 – vodiivý suchý zip [24].

### Vodivé stuhy

Tkané vodiivé stuhy, na obr. 1.4.2.4, jsou dalším způsobem jak vytvořit na textilií vodiivý obvod. Slouží k začlenění elektroniky do oděvu a k přenosu dat a energie. Stuhly jsou vyráběny celou řadou výrobců a existuje mnoho druhů. Jejich spojení s textilií je provedeno nejčastěji šitím. Tloušťka pásků se pohybuje cca od 5 mm do 15 mm. Dle požadavků zákazníka lze vyrobit stuhy s různým počtem vodičů a různou vodiivostí. Základem tkané stuhy jsou nejčastěji polyesterová vlákna, která slouží jako izolace, s vloženými měděnými či stříbrnými drátky. Studie ukázali, že její odpor je velmi nízký a nemění se ani po opakovaném praní a celkové údržbě oděvu [26, 27].



Obr. 1.4.2.4 – tkané vodiivé stuhy [27].

Oblečení je velmi vhodné jako nositel elektroniky. Je v neustálém kontaktu s člověkem. Elektronické součástky se neustále zmenšují. Problémem je ale stále tvorba vodivých drah. Existuje již spousta materiálů k jejich vytvoření, ale samotná dráha musí vydržet podmínky každodenního používání a údržby, což není snadné zajistit. Dalším problémem je spojování a rozpojování vodivých cest, v současné době je toto zajištěno druky, vhodnější by ale byla nějaká textilní varianta. Dráha musí být rozpojitelná jednak kvůli praní a také kvůli použitelnosti začleněných elektrických zařízení např. mobilní telefon, MP3 přehrávač či LED.

## 2. Praktická část

Cílem praktické části diplomové práce je vytvořit vhodný způsob vodivého obvodu a jeho ukončení. Nevýhodou jeho zhotovení na oděvu je, že musí splňovat komfortní podmínky, určité elektrické parametry, podmínky běžné údržby, musí být rozebiratelný a v neposlední řadě by neměl narušovat estetiku oděvu. Vybraný materiál a způsob jeho propojení s vhodným ukončovacím prvkem bude použit k tvorbě prototypu signalizačního trička.

### 2.1 Způsoby zhotovení vodivých drah

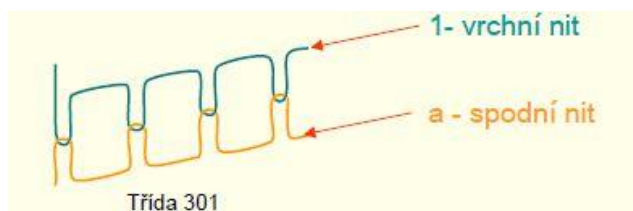
Byly vytvořeny vzorky z bavlněného materiálu o rozměrech 20x20 cm a na ně zhotovena 10 cm vodivá dráha. Bylo vyzkoušeno šití měděným drátkem a vodivou nití, zhotovení tunýlku s vloženým Cu drátkem a vodivá stuha od firmy Applycon. Všechny uvedené materiály jsou uvedeny v příloze 1.

#### 2.1.1 Šití vodivých drah Cu drátkem a vodivou nití

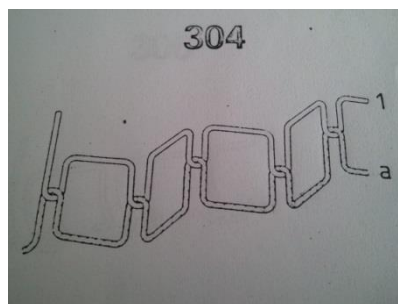
Vodivé dráhy byly zhotoveny z měděného drátku o průměru 0,118 mm a vodivé nitě různými třídami stehů na šicích strojích uvedených v příloze č. 2. Byly použity třídy stehů 300, 400, 500 a 600 dle normy ČSN ISO 4915 (80 0111). Při šití vodivou nití musela být kvůli její vysoké jemnosti zvolena vhodná proti nit. V následujících odstavcích budou jednotlivé třídy stehů popsány.

##### Třída 300 - Vázané stehy

*„Stehy této třídy jsou tvořeny dvěma nebo více skupinami nití a jsou charakterizovány způsobem jejich provázání. Smyčky jedné skupiny nití jsou protahovány materiálem a zajišťovány provázáním s nití nebo nitěmi druhé skupiny“* [28]. Stehy jsou zobrazeny na obr. 2.1.1.1 a obr. 2.1.1.2



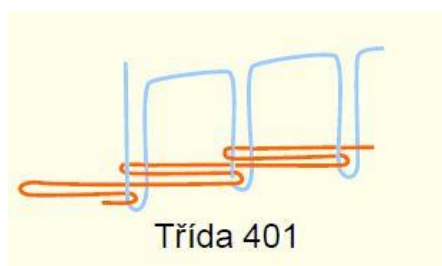
Obr. 2.1.1.1 – dvounitý vázaný steh třída 301 [35].



Obr. 2.1.1.2 – dvounitný vázaný steh klikatý třída 304 [28].

### **Třída 400 – Vícenitné řetízkové stehy**

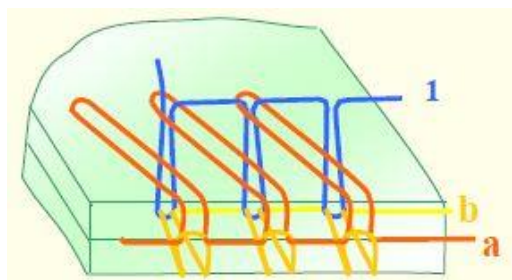
*„Stehy této třídy jsou tvořeny dvěma nebo více skupinami nití a jsou charakterizovány vzájemným provázáním smyček vytvořených nitěmi těchto skupin. Smyčky jedné skupiny nití jsou protahovány materiálem a zajišťovány provázáním se smyčkami další skupiny nití“ [28]. Steh je zobrazen na obr. 2.1.1.3.*



Obr. 2.1.1.3 – řetízkový steh třída 401 [35].

### **Třída 500 – Obnitkovací řetízkové stehy**

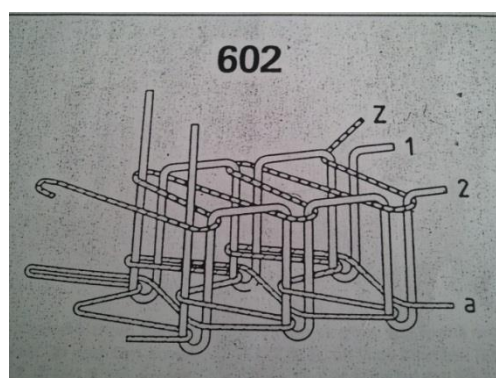
*„Stehy této třídy jsou tvořeny jednou nebo více skupinami nití a jsou charakterizovány tím, že smyčky jedné skupiny nití procházejí kolem okraje materiálu. Smyčky jedné skupiny nití jsou protahovány materiálem a zajišťovány provázáním se smyčkami téže nitě dříve, než následující smyčky jsou protaženy materiálem nebo jsou zajišťovány provázáním se smyčkami jedné nebo více skupin jiných nití dříve, než následující smyčky první skupiny nití jsou opět protaženy materiálem“ [28]. Steh je zobrazen na obr. 2.1.1.4.*



Obr. 2.1.1.4 – obnítovací steh třída 504 [35].

### Třída 600 – Krycí řetízkové stehy

„Stehy této třídy jsou tvořeny dvěma nebo více skupinami nití a jsou charakterizovány tím, že dvě ze skupin pokrývají oba povrchy materiálu. Smyčky první skupiny nití jsou protahovány smyčkami třetí skupiny, které jsou uloženy na povrchu materiálu, potom jsou protahovány materiálem a na spodní straně materiálu se provazují se smyčkami druhé skupiny nití“ [28]. Steh je zobrazen na obr. 2.1.1.5.



Obr. 2.1.1.5 – krycí steh třída 602 [28].

### Šití vodivých drah stehem 301

Steh třídy 301 je tvořen jednou nití jehelní a jednou nití spodní. Při zhotovování vodivých drah byly vytvořeny 2 druhy vzorků tohoto stehu. V prvním případě byla použita vrchní nit polyesterová a jako spodní nit měděný drátek. V druhém případě byl použit měděný drátek pro vrchní i spodní nit.

První způsob na obr. 2.1.1.6, kde byl drátek použit jako nit spodní, se po správném seřízení napětí dal steh velmi snadno zhotovit. V druhém případě se díky dlouhé cestě a vodičům nitě velmi často trhal, ale po správném seřízení napětí a naolejování drátku ho bylo možné vytvořit.

Dále byl steh vytvořen vodivou nití, na obr. 2.1.1.7. Tento druh nitě má velmi vysokou jemnost, při vedení přes vodiče by tak docházelo k velkému tření a tím k přetrhům. Z tohoto důvodu byla využita jako nit spodní. Po správném výběru vrchní nitě a seřízení jejího napětí lze steh vytvořit.



Obr. 2.1.1.6 – steh 301 vytvořený Cu drátkem a PL nití.



Obr. 2.1.1.7 – steh 301 vytvořený vodivou nití.

### **Šití vodivých drah stehem 304**

Steh třídy 304 je tvořen jednou nití jehelní a jednou nití spodní. Při šití vodivých drah byla použita polyesterová vrchní nit a jako spodní měděný drátek, na obr. 2.1.1.8. Vzhledem ke krátké cestě bez vodičů, lze steh snadno ušít, avšak se správným seřízením napětí vrchní nitě.

Vodivá nit byla i u stehu 304 zvolena jako spodní, kvůli krátké cestě bez vodičů. Při použití jako vrchní nitě by docházelo k častým přetrhům vlivem vysokého tření. Steh byl ušit na kufříkovém šicím stroji a nelze víc utáhnout napětí vrchní nitě, které by bylo potřebné. Při tomto utažení se vrchní nit značí na rubní straně, obr. 2.1.1.9.



Obr. 2.1.1.8 – steh 304 šitý Cu drátkem.



Obr. 2.1.1.9 – steh 304 šitý vodivou nití.

### **Šití vodivých drah stehem 401**

Steh třídy 401 je tvořen dvěma nitěmi. Jednou nití jehelní v našem případě polyesterovou a jednou nití spodní, kde byl použit měděný drátek obr. 2.1.1.10. Smyčka jehelní nitě prochází materiálem z jehelní strany a na druhé straně jednou smyčkou spodní nitě.

Šití vodivé dráhy u tohoto typu stehu nebylo nejjednodušší, cesta spodní nitě je poměrně dlouhá a se spoustou vodičů. Po namazání drátku olejem a správném seřízení napětí spodní nitě lze steh zhotovit.



Obr. 2.1.1.10 – steh 401 šitý Cu drátkem a PL nití.

Využití vodivé nitě pro tento steh nebylo příliš vhodné. Nit byla navlečena do spodní jehly. Díky velké jemnosti nitě a spoustě vodičů docházelo k velkému tření a tím k jejím častým přetrhům. Pokud se steh podařilo vytvořit, nebyl kvalitní. Navlečení do vrchní jehly nebylo též vhodné a to z důvodu dlouhé cesty se spoustou vodičů.

### **Šití vodivých drah stehem 504**

Steh třídy 504 je tvořen třemi nitěmi. Jednou nití jehelní, kde byl použit měděný drátek a dvěma polyesterovými nitěmi spodními, na obr. 2.1.1.11. Jehelní nit byla vybrána z důvodu nejkratší cesty s nejméně vodiči. I v tomto případě lze vodivou dráhu, po seřízení napětí a naolejování drátku, zhotovit.



Obr. 2.1.1.11 – steh 504 ušitý Cu drátkem a PL nití.



Vodivá nit byla navlečená do vrchní jehly, protože tato cesta je nejkratší s nejméně vodiči. I přes seřizování napětí vrchní jehelní a spodních jehelních nití se steh nepodařilo vytvořit. Proto ani tento steh není vhodný k vytvoření vodivé dráhy danou nití.

### **Šití vodivých drah stehem 602**

Steh třídy 602 je tvořen čtyřmi nitěmi. Jako jehelní nitě byla použita nit polyesterová, krytí bylo vytvořeno měděným drátkem, na obr. 2.1.1.12.

V prvním případě byl vyzkoušen způsob vytvořit vodivou dráhu, kde měděný drátek je umístěn ve vrchním krytí. Tento steh ale nebylo možné zhotovit, podavač této nitě drátek nenabíral pravidelně, tudíž vznikaly mezery a steh nesplňoval funkci vrchního krytí. V druhém případě byl využit měděný drátek ke spodnímu krytí. Cesta nitě je zde sice delší s řadou vodičů, ale po správném seřízení a naolejování lze dráhu zhotovit.

U tohoto stehu byla vodivá nit využita jako vrchní krycí nit obr. 2.1.1.13. Tato cesta má minimum vodičů, a tak po správném seřízení jejího napětí lze steh velmi snadno ušít. Tento druh stehu je tedy vhodný k vytvoření vodivé dráhy.



Obr. 2.1.1.12 – steh 602 šitý Cu drátkem a PL nití.



Obr. 2.1.1.13 – steh 602 šitý vodivou nití.

Pro každý steh se liší i spotřeba vodivého materiálu. S vyšší spotřebou roste i elektrický odpor, který jak známo roste s délkou media. V tabulce 2.1.1.1 jsou uvedeny průměrné spotřeby pro jednotlivé stehy. Na nichž výsledný elektrický odpor též závisí.



Tabulka 2.1.1.1 – průměrná spotřeba d Cu drátku na vytvoření stehů.

Druh stehu	$\bar{d}$ [cm]
<b>301</b>	11,10
<b>304</b>	19,60
<b>401</b>	11,20
<b>504</b>	41,80
<b>602</b>	82,60

Využití měděného drátku pro zhotovení vodivých obvodů je velmi účinné, především díky odporu, kterého dosahuje (uvedeno v kapitole 2.3.1, str. 45). Avšak samotný drátek je velmi křehký, snadno praská a i po správném seřízení a namazání docházelo k přetrhům. Domnívám se tedy, že pro komerční využití by tato metoda zhotovení drah nebyla příliš efektivní.

Využití vodivé nitě se ukázalo z hlediska šití jako vhodné řešení.

## 2.1.2 Tunýlek s vloženým Cu drátkem

Měděný drátek má výborné vodivé vlastnosti ale k šití je vcelku nevhodný. Z tohoto důvodu byl vyzkoušen další způsob k jeho začlenění do nositelné elektroniky. Jedná se o vložení Cu drátku do ušitého tunýlku, na obr. 2.1.2.1, na oděvu. Tunýlek je zhotovený z tkalounu (viz příloha 1). Délka zkušebního vzorku vodivé dráhy je 10 cm. Drátek není namáhán šitím, a tudíž by nemělo dojít k jeho poškození a následnému přerušení.



Obr. 2.1.2.1 – vodivá dráha vytvořená z tkalounu a měděného drátku.

### 2.1.3 Vodivá stuha

K vytvoření dalšího typu vodivé dráhy byla využita vodivá stuha (viz příloha 1.). Ta vykazuje skvělé vodivé vlastnosti a jde snadno propojit s oděvem. Stuha délky 10 cm byla přiložena a přišita uprostřed své šířky na základní materiál. Před propojením s ukončovacím prvkem dráhy musel být vodivý multifil pocínován, obr. 2.1.3.1. To zaručilo jeho vodivost.



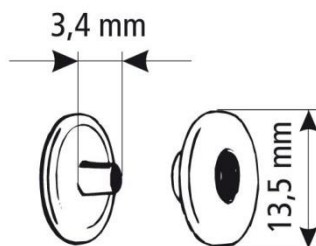
Obr. 2.1.3.1 – pocínované konce stuhy.

## 2.2 Ukončení vodivých drah

Ukončení vodivých drah slouží k propojení s elektrickou součástí. Důležité je, aby propojení bylo rozebíratelné, protože mnoho elektronických zařízení je využíváno i pro jiné účely a také z důvodu údržby oděvu, protože např. zdroj elektrického napětí nelze prát. Byly vyzkoušeny dva způsoby ukončení. První jsou klasické druky. Druhý je suchý vodivý zip. Oba dosahují výborných hodnot odporu.

### 2.2.1 Ukončení vodivých drah druky

Ukončení vodivých drah bylo provedeno oděvními druky (viz příloha 1). V případě, kde byl využit jako vodivá dráha měděný drátek nebo vodivá stuha, bylo propojení provedeno následovně. Konce drátku či vodivé stuhy byly napájeny mikropájkou (viz příloha 2) na měděný plíšek (viz příloha 1). Ten byl vložen společně s látkou mezi spodní a vrchní část druku, obr. 2.2.1.1. Poté byl spojen na mechanickém drukovacím stroji (viz příloha 2) a zataven lepidlem, aby nebyl během praní poškozen spoj.



Obr. 2.2.1.1 – vrchní a spodní část druku.

Vodivá nit byla ukončena též oděvním drukem. Na konci dráhy byla stehem 304 vyšita spirálka, která co nejvěrněji kopírovala tvar druku. Spirála byla zvolena z toho důvodu, aby došlo k co největší stykové ploše mezi drukem a nití. Poté byl materiál vložen mezi spodní a vrchní část druku a spojen na mechanickém drukovacím stroji.

Tato ukončení vykazovala velmi dobré vodivé vlastnosti, viz tabulky v kapitole 2.3.

## 2.2.2 Ukončení vodivých drah suchými vodivými zipy

Jako druhý způsob ukončení byl vyzkoušen suchý vodivý zip (viz příloha 1). Jeho propojení s vodivou drahou není jednoduché. Jeho šířka je 2,54 cm a délka byla zvolena 1 cm. Bylo vyzkoušeno několik způsobů.

Jako první způsob bylo využito vodivé lepidlo (příloha 1). S ním byly nalepeny konce drátků či vodivé stuhy na zip. Po vytvrnutí lepidla (24 h) byl změřen elektrický odpor. Tento druh spoje se ukázal jako nevyhovující právě z důvodu velmi vysokého odporu.

Jako další způsob propojení dráhy a velcro pásku bylo využito pájení. Konce vodivé stuhy byly napájeny na zip. Tento spoj byl zataven lepidlem z tavicí pistole (příloha 2), aby nedošlo k jeho případnému poškození při údržbě. Poté byl zip přišit k základnímu materiálu.

Při zhotovení vodivé dráhy vodivou nití bylo propojení zhotoveno prošitím zipu, obr. 2.2.2.1. K vytvoření vodivé dráhy a následnému prošití zipu byl zvolen steh 301, jehož odpor je nejmenší z důvodu nízké spotřeby šicího materiálu, jak je patrné z tabulky 2.1.1.1 (str. 41.) Nejdříve byl přiložen velcro pásek na materiál a prošit,

následně vytvořena vodivá dráha a na jejím konci opět prošití zipu jako ukončení. Jako vhodnější způsob se osvědčilo prošití v ruce místo šicím strojem. To z důvodu velkého průměru obou použitých nití, zip se špatně šil a i estetický dojem nebyl nejlepší. Vodivý velcro pásek byl ještě přišit běžnou PL nití k šitému materiálu, aby bylo snadnější zkoušení cyklu otevírání/zavírání.



Obr. 2.2.2.1 – ukončení vodivé dráhy vodivým velcro páskem.

## 2.3 Měření elektrického odporu

Elektrický odpor  $R$  je fyzikální veličina, která popisuje schopnost látky vést elektrický proud. Jednotkou je  $\Omega$ .

Měření elektrického odporu bylo provedeno na digitálním multimetru (příloha 3). Odpor byl změřen po zhotovení dráhy, po upevnění ukončovacích součástí a po údržbě, tedy po praní. Při měření  $R$  u vodivého suchého zipu byl navíc zkoušen cyklus otevírání/zavírání. Změna odporu byla měřena po 10 o/z. Po přiložení měřících čelistí ke koncům dráhy byla zaznamenána průměrná hodnota odporu. Dle normy [29] bylo měření provedeno na 3 vzorcích.

### Praní

Vzorky materiálu byly též podrobeny pracímu cyklu, protože denní používání oděvu to vyžaduje. Praní vzorků materiálu bylo provedeno dle normy [30]. Použita byla automatická pračka, uvedena v příloze 2, typu A, která má plnění zepředu, a tedy horizontální buben. Dle normy byl zvolen prací postup 7A, standardní detergent WOB (bez opticky zjasňujících prostředků) a jako doprovodná textilie tkaná prostěradlovina (50 % PL, 50 % CO) o rozměrech  $92 \pm 5 \times 92 \pm 5$  cm. Sušení vzorků bylo provedeno jako sušení odkapáním. Prané vzorky byly umístěny do pracího sáčku a to proto, aby

nedošlo k zachycení drátku či jiné části o buben a tím k poškození zhotovené dráhy. Pokud nedošlo k poškození dráhy, bylo provedeno v pěti pracích cyklech.

Parametry praní:

- Zvolený program: ruční program.
- Teplota: 40 °C.
- Doba praní: 37 min.
- Odstředění: 400 ot/min.
- Množství detergentu: 25 ml.

Při praní vzorků ukončených vodivým velcro páskem, byl tento pásek rozpojen a propojen s klasickým suchým zipem, aby nedošlo k jeho poškození. Průměrné hodnoty naměřených odporů bez ukončení vodivých drah, před a po údržbě jsou uvedeny v následujících tabulkách.

### **2.3.1 Elektrické odpory šitých vodivých drah tvořených Cu drátkem**

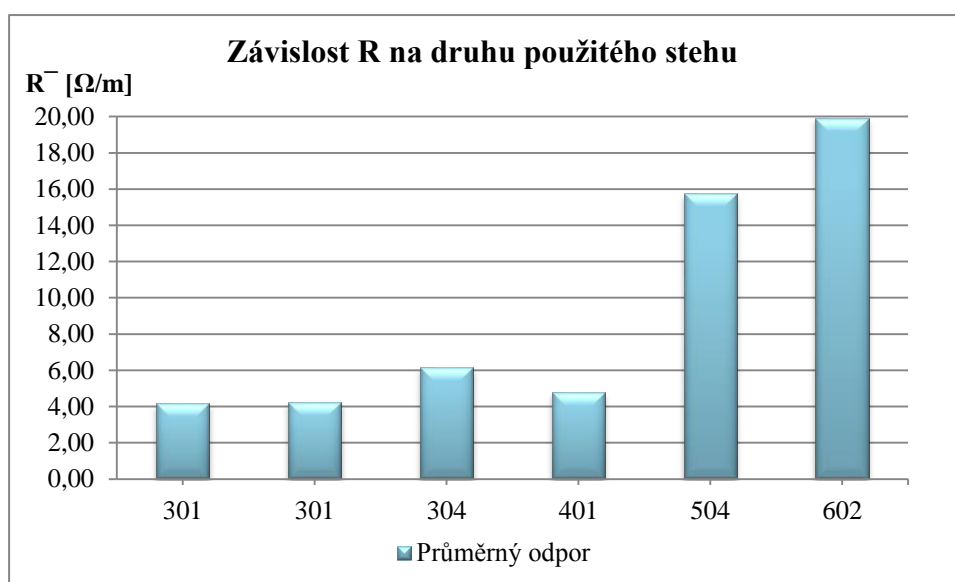
V následujících tabulkách a grafech jsou uvedeny hodnoty elektrického odporu vodivých drah vytvořených měděným drátkem o průměru 0,118 mm. Jejich změny po spojení s ukončovacími prvky, po cyklech praní a otevření/zavření.

Z hodnot uvedených v tabulce 2.3.1.1 a obr. 2.3.1.1 je jasné vidět, že odpor závisí na délce použitého materiálu. Proto se velmi liší hodnoty  $R$  u použitých druhů stehů, i když všechny zkušební vzorky měly 10 cm.

Dále jsou v tabulce 2.3.1.1 uvedeny průměrné hodnoty elektrických odporů po spojení dráhy s druky. Je z nich patrné, že ukončení nemá na odpor téměř žádný vliv. Dále jsou zde uvedeny hodnoty  $R$  po jednom vyprání, ty se razantně změnily. Téměř u všech stehů došlo k poškození dráhy, u některých ve spoji konce Cu drátku a druku, jiné byly poškozeny uvnitř dráhy. Pouze steh 602 vydržel, avšak jeho odpor se velmi zvýšil. To bylo způsobeno poškozením spoje dráhy a druku, protože u tohoto způsobu ještě nebylo provedeno zatavení spoje lepidlem. K poškození drátku nemohlo dojít díky jeho izolaci, která se praním nepoškodí.

Tabulka 2.3.1.1 – naměřené průměrné hodnoty šitých vodivých drah bez ukončení, s ukončením druky a po jednom vyprání.

Druh stehu	Cu drátek	$\bar{R}$ [ $\Omega/m$ ] bez ukončení	$\bar{R}$ [ $\Omega/m$ ] po ukončení druky	$\bar{R}$ [ $\Omega/m$ ] po jednom vyprání
<b>301</b>	Spodní nit	4,20	4,20	přerušení dráhy
<b>301</b>	Spodní + vrchní nit	4,30	4,30	přerušení dráhy
<b>304</b>	Spodní nit	6,20	6,40	přerušení dráhy
<b>401</b>	Spodní nit	4,80	4,70	přerušení dráhy
<b>504</b>	Jehelní nit	15,80	15,80	přerušení dráhy
<b>602</b>	Spodní nit	19,90	19,90	30,90



Obr. 2.3.1.1 – závislost R na druhu použitého stehu pro vytvoření vodivé dráhy.

Kvůli těmto naměřeným hodnotám a poškozeným drahám, bylo zjištěno, že drátek není moc vhodný k šití vodivých cest. Proto byl vyzkoušen další způsob jeho využití a také bylo v dalších případech provedeno zatavení spoje lepidlem z tavné pistole (příloha č. 2).

Šití vodivých drah bylo vyzkoušeno i vodivou nití, která vykazuje výborné vodivé vlastnosti.

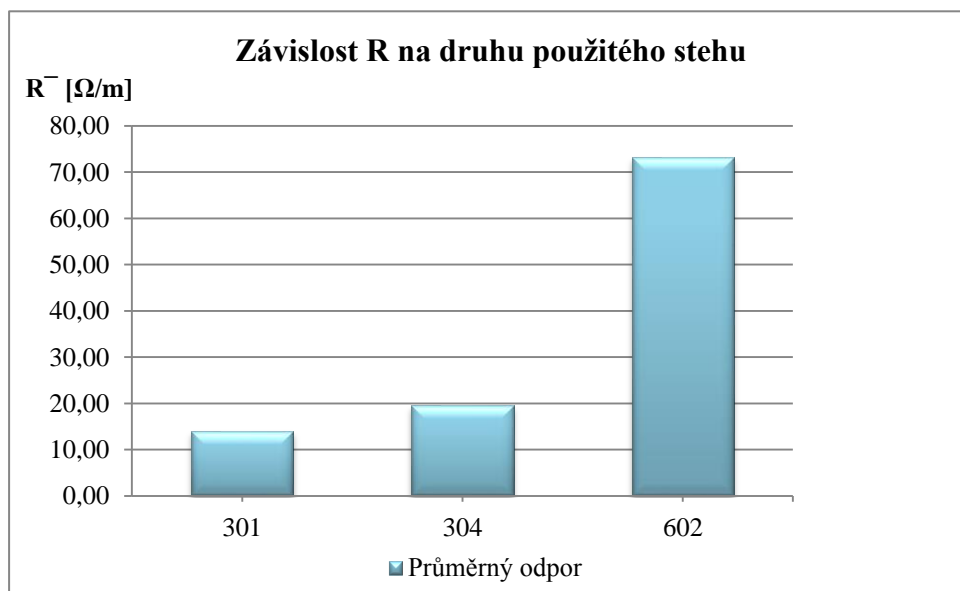
### 2.3.2 Elektrické odpory šitých vodivých drah vytvořených vodivou nití

V této kapitole jsou uvedeny průměrné hodnoty elektrických odporů šitých vodivých drah vytvořených vodivou nití. Dále jejich změny po ukončení druky nebo suchým vodivým zipem a po cyklech otevření/zavření a praní.

I zde, z hodnot v tabulce 2.3.2.1 a obr. 2.3.2.1, je patrné, že elektrický odpor vzrůstá s délkou vodiče. Hodnoty  $R$  se razantně liší, steh 602 s průměrnou spotřebou 82,75 cm nitě na 10 cm vzorek, má větší odpor než stehy 301 a 304, u nichž i spotřeba šicího materiálu je podstatně nižší. Dále je patrné, že ukončení dráhy drukem nemá téměř žádný vliv na výsledný odpor. To je dáno dobrým propojením obou vodivých materiálů.

Tabulka 2.3.2.1 - naměřené průměrné hodnoty  $R$  vodivých drah vytvořených z vodivé nitě bez ukončení a s ukončením druky.

Druh stehu	Vodivá nit	$\bar{R}$ [ $\Omega/m$ ] bez ukončení	$\bar{R}$ [ $\Omega/m$ ] s ukončením druky
<b>301</b>	spodní	14,00	14,90
<b>304</b>	spodní	19,60	21,00
<b>602</b>	vrchní krycí	73,20	79,20

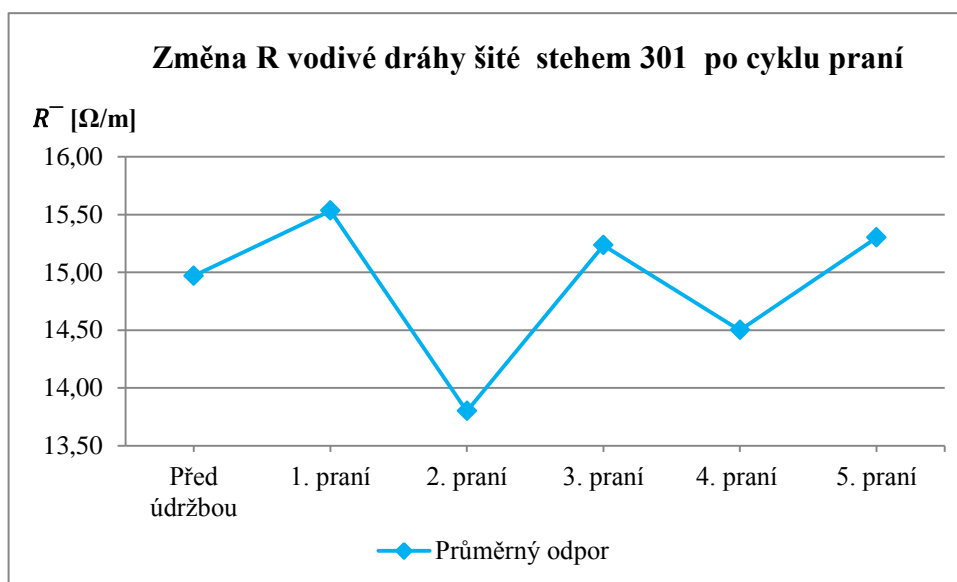


Obr. 2.3.2.1 – závislost  $R$  na druhu použitého stehu pro vytvoření vodivé dráhy.

Z hodnot uvedených v tabulce 2.3.2.2 a z obr. 2.3.2.2 je zřejmé, že hodnoty stehu 301 se po pracím cyklu nijak významně nezměnily. Nit je dobře odolná vůči praní a ani spoj nijak neovlivnil odpor dráhy.

Tabulka 2.3.2.2 – naměřené průměrné hodnoty  $R$  [ $\Omega/m$ ] šité vodivé dráhy s ukončením druky před a po pracím cyklu.

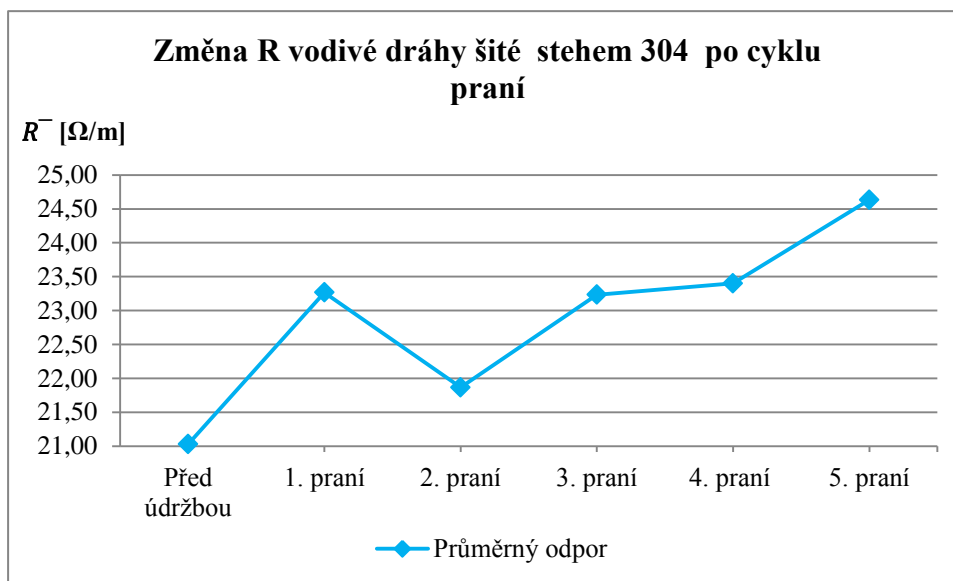
Druh stehu	Před údržbou	1. praní	2. praní	3. praní	4. praní	5. praní
301	14,90	15,50	13,80	15,20	14,50	16,60
304	21,0	23,30	21,90	23,20	23,40	25,30
602	79,20	78,90	75,80	79,00	79,40	81,10



Obr. 2.3.2.2 – průměrné naměřené hodnoty změn  $R$  vodivé dráhy z vodivé nitě ušité stehem 301 po pracím cyklu.

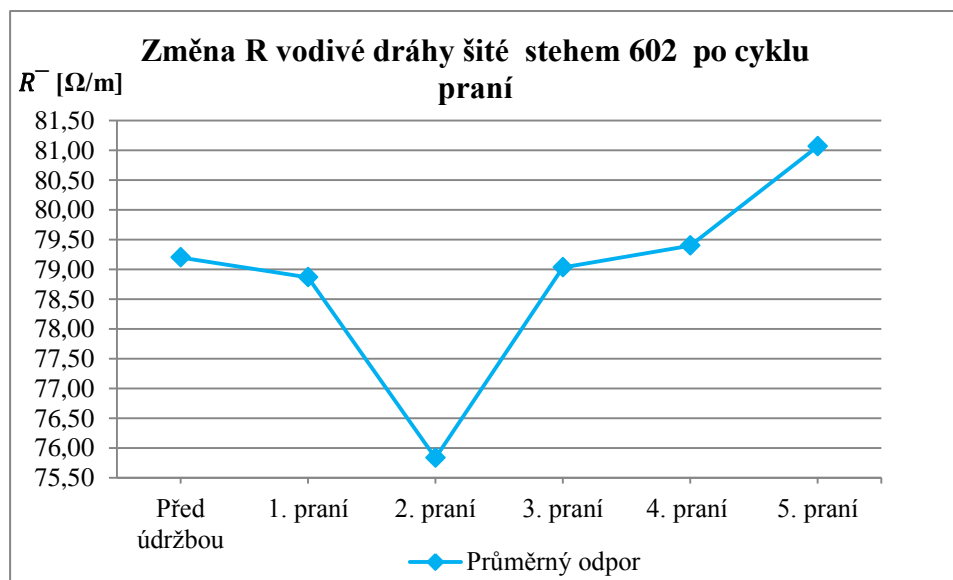
Z obr. 2.3.2.3 a hodnot v tabulce 2.2.3.3 (str. 47) je patrné, že se hodnoty  $R$  vodivé dráhy vytvořené stehem 304 po pracím cyklu téměř nezměnily.





Obr. 2.3.2.3 – průměrné naměřené hodnoty změn R vodivé dráhy z vodivé nitě ušité stehem 304 po pracím cyklu.

Hodnoty v tabulce 2.3.2.2 (str. 48) a obrázku 2.3.2.4 ukazují, že ani vodivá dráha ušitá stehem 602 nezměnila nijak významně svůj odpor po pracím cyklu.



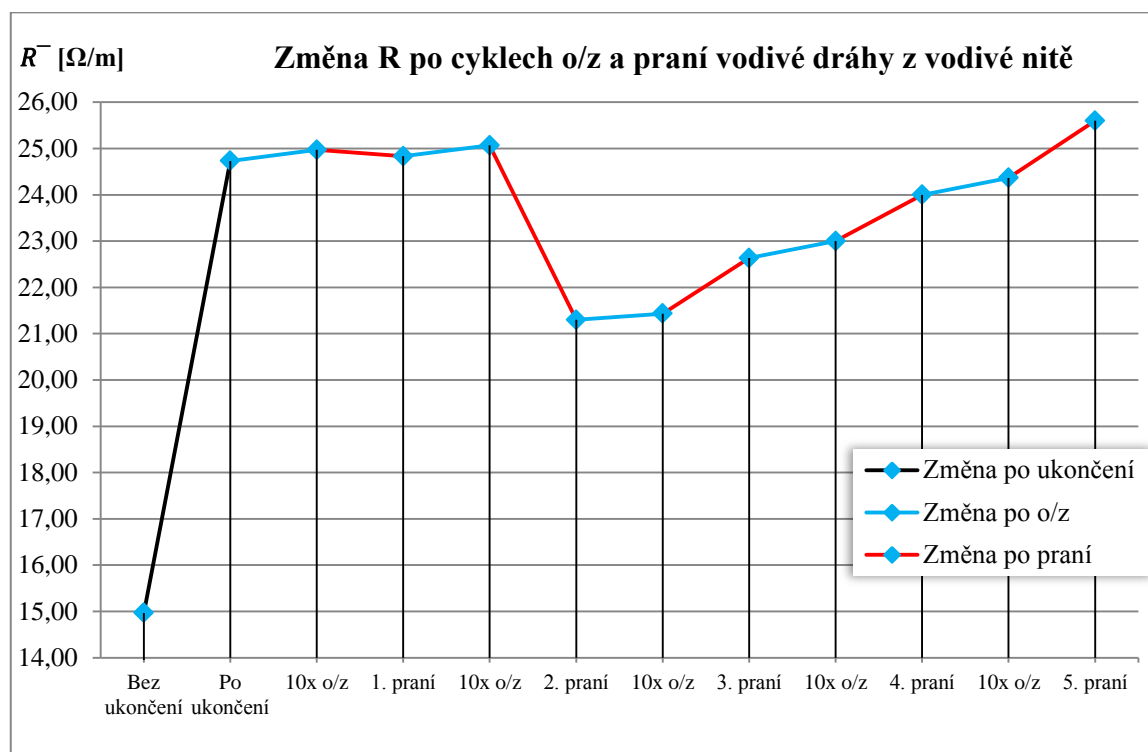
Obr. 2.3.2.4 – průměrné naměřené hodnoty změn R vodivé dráhy z vodivé nitě ušité stehem 602 po pracím cyklu.

Z těchto naměřených hodnot je jasné vidět, že tento druh vodivé nitě a způsob propojení pomocí spirály je velmi vhodný pro vytvoření vodivých drah na oděvech. Nejvhodnějším stehem je 301, protože má nejmenší spotřebu šicího materiálu a tudíž i nejnižší odpor.

V tabulce 2.3.2.3 a obr. 2.3.2.5 jsou ukázány hodnoty  $R$  po cyklech otevření/zavření a praní vodivé dráhy z vodivé nitě, ušité stehem 301, ukončené vodivým velcro páskem. I zde je patrné, že cyklus o/z nemá významný vliv na změnu odporu. Je zde vidět, že největší nárůst odporu nastal po spojení dráhy a zipu zhruba o 65 %, i přesto jsou hodnoty velmi nízké. Dál už se odpory nijak významně neměnily. Z tohoto důvodu je tento způsob vytvoření vodivé dráhy a jejího propojení vhodný k aplikaci na oděv.

Tabulka 2.3.2.3 – naměřené průměrné hodnoty vodivé dráhy z vodivé nitě před ukončením, po ukončení suchým zipem, po cyklech o/z a praní.

Proces	$\bar{R}$ [ $\Omega/m$ ]
<b>Bez ukončení</b>	14,90
<b>Po ukončení</b>	24,70
<b>10x o/z</b>	24,90
<b>1. praní</b>	24,80
<b>10x o/z</b>	25,10
<b>2. praní</b>	21,30
<b>10x o/z</b>	21,40
<b>3. praní</b>	22,60
<b>10x o/z</b>	23,00
<b>4. praní</b>	24,00
<b>10x o/z</b>	24,40
<b>5. praní</b>	25,60



Obr. 2.3.2.5 – naměřené průměrné hodnoty R po cyklech o/z a praní vodivé dráhy z vodivé nitě, vytvořené stehem 301.

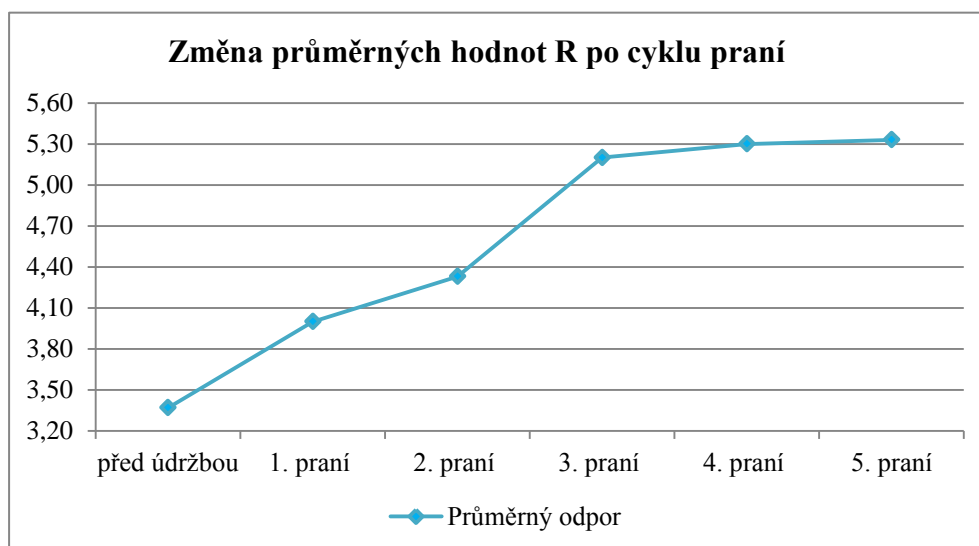
### 2.3.3 Elektrické odpory vodivých drah z tunýlku s Cu drátkem

Tato kapitola obsahuje naměřené elektrické odpory vodivých drah vytvořených z tkalounu s vloženým měděným drátkem. Jejich změny po spojení s ukončovacími prvky a po cyklech otevření/zavření, v případě využití suchého zipu, a praní.

Tabulka 2.3.3.1 a obrázek 2.3.3.1 ukazují, že se hodnoty vodivého tunýlku vytvořeného z tkalounu a Cu drátku zakončeného drukem se téměř nezměnily. Důležité u tohoto způsobu tvorby dráhy je dokonalé zatavení druku, aby praní nepoškodilo spoj součástí.

Tabulka 2.3.3.1 - naměřené průměrné hodnoty  $R$  tunýlku s Cu drátkem před ukončením, po ukončení drukem a po údržbě.

Proces	$\bar{R}$ [ $\Omega/m$ ]
<b>Před ukončením</b>	3,40
<b>před údržbou</b>	3,30
<b>1. praní</b>	4,00
<b>2. praní</b>	4,30
<b>3. praní</b>	5,20
<b>4. praní</b>	5,30
<b>5. praní</b>	5,30

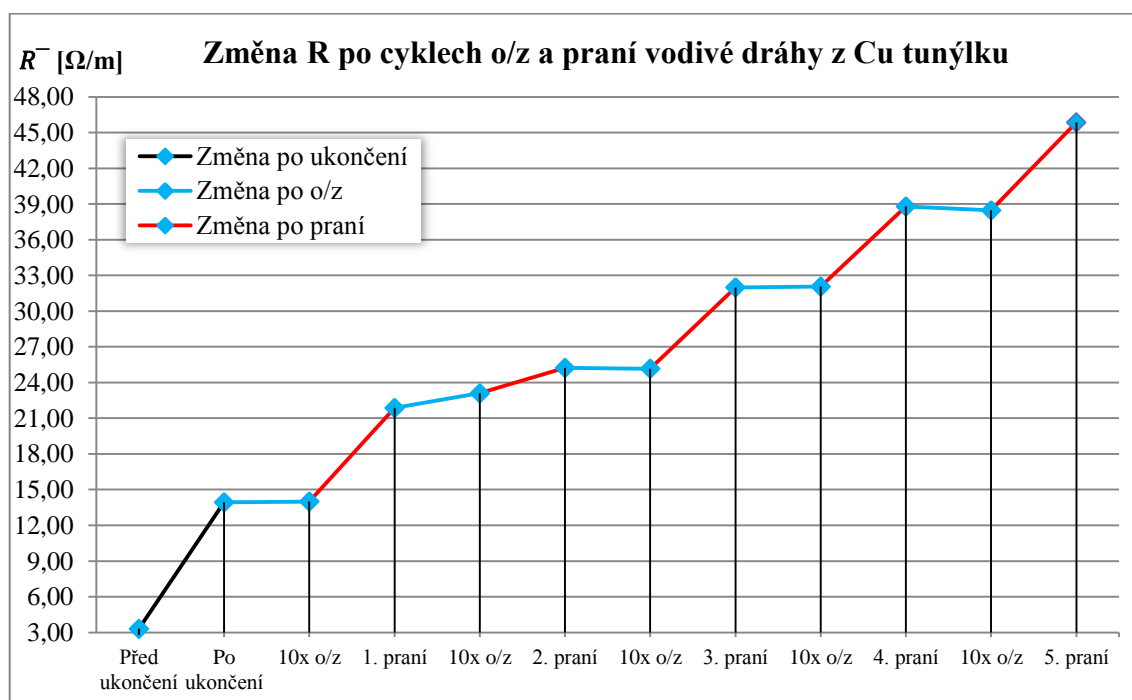


Obr 2.3.3.1 – průměrné hodnoty naměřených  $R$  vodivé dráhy z Cu tunýlku ukončené drukem po pracím cyklu.

Tabulka 2.3.3.2 a obr. 2.3.3.2 ukazují hodnoty změn elektrického odporu po cyklech otevírání/zavírání a praní. Zde byl jako ukončovací prvek využit suchý vodivý zip, na který byl drátek napájen a celý spoj zataven lepidlem. Tento způsob spoje zvýšil elektrický odpor zhruba třikrát. Hodnoty jsou ale i tak nízké. Z obrázku je patrné, že hodnoty  $R$  se po otevírání/zavírání téměř nezměnily. K výraznějším změnám docházelo pouze po praní. To je zřejmě zapříčiněno poškozením spoje drátku a zipu. Z toho vyplývá, že spoj pájením je dobrý ale jen v aplikacích, kde není potřebné praní.

Tabulka 2.3.3.2 – naměřené průměrné hodnoty  $R$  tunýlku před ukončením, po ukončení vodivým zip a po cyklech o/z a praní.

Proces	$\bar{R}$ [ $\Omega/\text{m}$ ]
<b>Před ukončení</b>	3,30
<b>Po ukončení</b>	13,90
<b>10x o/z</b>	14,00
<b>1. praní</b>	21,90
<b>10x o/z</b>	23,10
<b>2. praní</b>	25,20
<b>10x o/z</b>	25,20
<b>3. praní</b>	32,00
<b>10x o/z</b>	32,10
<b>4. praní</b>	38,80
<b>10x o/z</b>	38,50
<b>5. praní</b>	45,90



Obr. 2.3.3.2 – naměřené průměrné hodnoty  $R$  po cyklech o/z a praní vodivé dráhy z Cu drátku vloženého do tunýlku.

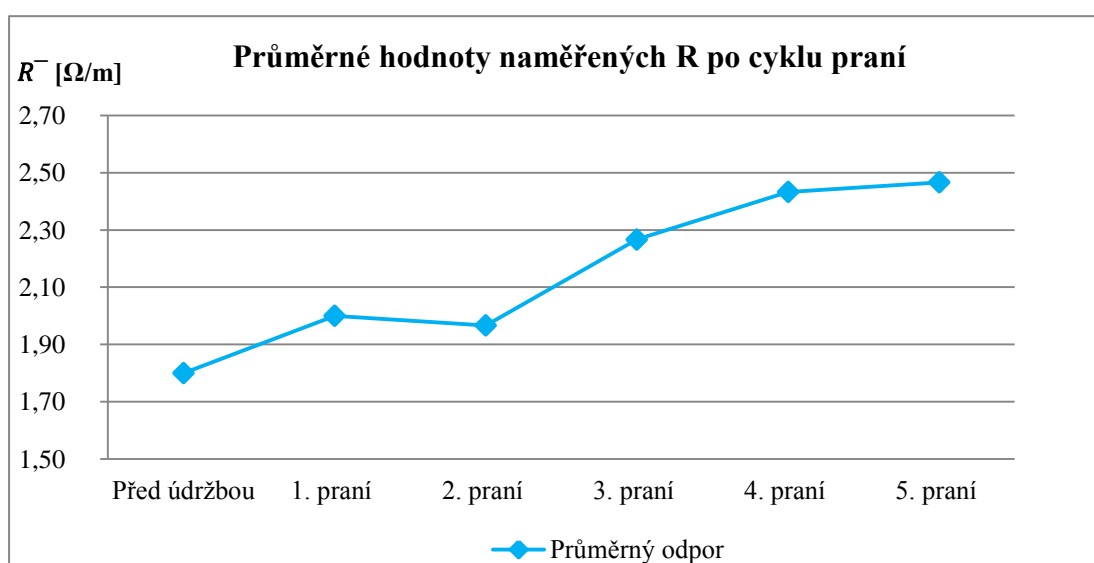
### 2.3.4 Elektrické odpory vodivých drah z vodivé stuhy

V této kapitole jsou uvedeny hodnoty elektrických odporů vodivých drah vytvořených našitím vodivé stuhy na základní materiál. Dále je zde uvedena změna těchto hodnot po ukončení druku či suchými vodivými zipy a po cyklech otevření/zavření a praní.

Vodivá stuha vykazuje jak je patrné z obrázku 2.3.4.1 a tabulky 2.3.4.1 velmi dobré vodivé vlastnosti. Ty nijak výrazně neovlivnilo zakončení pomocí druku. Prací cyklus též výrazně nezvýšil hodnoty  $R$ , a to díky správnému zatavení druku lepidlem, aby nedošlo k poškození spoje. Z tohoto důvodu a i z důvodu snadné aplikace na oděv je tato stuha velmi vhodná k vytvoření vodivých drah.

Tabulka č. 2.3.4.1 – naměřené průměrné hodnoty  $R$  vodivé dráhy z vodivé stuhy s ukončením druky.

Proces	$\bar{R}$ [ $\Omega/\text{m}$ ]
<b>Bez ukončení</b>	1,70
<b>Po ukončení</b>	1,80
<b>1. praní</b>	2,00
<b>2. praní</b>	2,00
<b>3. praní</b>	2,30
<b>4. praní</b>	2,40
<b>5. praní</b>	2,47

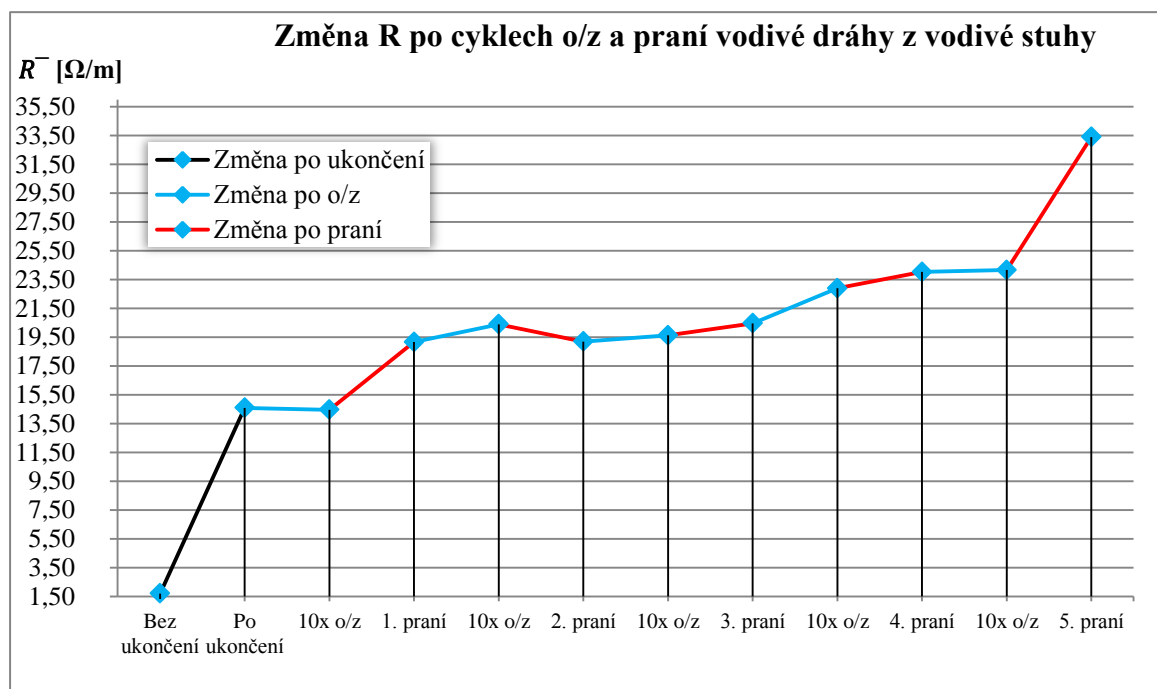


Obr. 2.3.4.1 – průměrné hodnoty naměřených elektrických odporů po pracích cyklech.

Tabulka 2.3.4.2 a obrázek 2.3.4.2 ukazují hodnoty změn  $R$  po ukončení, po cyklech otevření/zavření a praní vodivé dráhy z vodivé stuhý ukončené suchým vodivým zipem. Největší nárůst nastal po ukončení vodivé dráhy. I zde je patrné, že po cyklech o/z se elektrické odpory nijak významně nezměnily. K výraznějším změnám docházelo při praní. Ty byly zřejmě způsobeny poškozením spoje dráhy a vodivého zipu. Tento spoj je vhodný pouze do aplikací, kde není potřebné praní.

Tabulka 2.3.4.2 – naměřené průměrné hodnoty vodivé dráhy z vodivé stuhý ukončené suchým zipem po cyklech o/z a praní.

Proces	$\bar{R}$ [ $\Omega/\text{m}$ ]
<b>Bez ukončení</b>	1,70
<b>Před údržbou</b>	14,60
<b>10x o/z</b>	14,50
<b>1. praní</b>	19,20
<b>10x o/z</b>	20,40
<b>2. praní</b>	19,20
<b>10x o/z</b>	19,60
<b>3. praní</b>	20,50
<b>10x o/z</b>	22,90
<b>4. praní</b>	24,00
<b>10x o/z</b>	24,20
<b>5. praní</b>	33,40



Obr. 2.3.4.2 – naměřené průměrné hodnoty R po cyklech o/z a praní vodivé dráhy z vodivé stuhy.

## 2.4 Signalizace s využitím LED na tričku

S rostoucí hustotou dopravy, roste i počet nehod chodců či cyklistů. Ochranné prvky jsou nezbytnou záležitostí a není jich nikdy dostatek. Reflexní pásy jsou již běžnou součástí oděvu. Ty však fungují až po ozáření. Lepším řešením je využití světelných komponent. Ruční svítilna je možná, ale není příliš komfortní. V dnešní době, kdy to technika umožňuje, je vhodné začlenit světelnou elektroniku do oděvu. Z tohoto důvodu byl v rámci diplomové práce vytvořen prototyp signalizačního trička s aplikací suchého vodivého zipu a vodivé nitě.

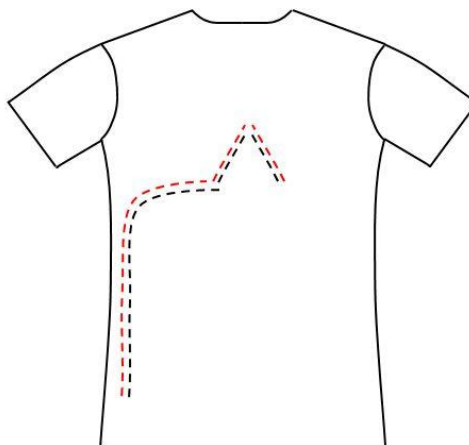
K vytvoření signalizačního (bezpečnostního) trika byly použity následující komponenty (jejichž podrobnější popis je uveden v příloze):

- Pánské tričko.
- Vodivá nit.
- Suchý vodivý zip.
- LilyPad LED červené.
- 2 baterie AAA s jejich držákem.



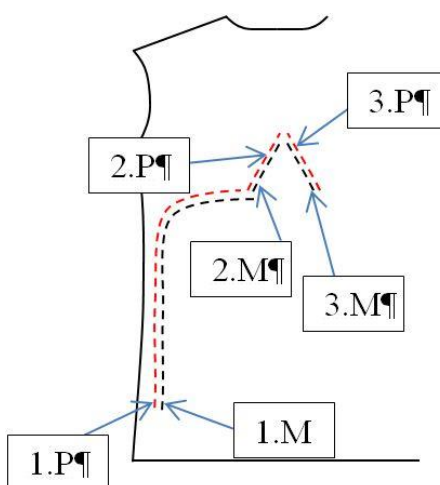
### 2.4.1 Vytvoření vodivého obvodu

K vytvoření vodivého obvodu s obrazcem trojúhelníku (obr. 2.4.1.1) byla využita vodivá nit, vyzkoušená v předchozí kapitole. Tou byly stehem 301 vyšity na záda trička dvě vodivé dráhy. Každá z nich představuje jiný pól. Vodivá nit je umístěna na lícni straně oděvu. Proto tedy šití proběhlo na rubní straně, jelikož vodivá nit kvůli své vysoké jemnosti musela být použita jako spodní.



Obr. 2.4.1.1 – náčrtek pánského trička s vyšitou vodivou drahou.

Každá dráha je rozdělena na 3 segmenty, obr. 2.4.1.2. Délka jednotlivých částí je uvedena v tabulce 2.4.1.1. První nejdelší tvoří spoj mezi propojovacím suchým zipem a LED. Další dvě propojují signalizační komponenty, tak aby vznikl trojúhelník. Dráhy by se neměly nikde navzájem křížit, aby nedošlo ke zkratu a tím k vybití baterie.



Obr. 2.4.1.2 – rozdělení dráhy na jednotlivé segmenty.

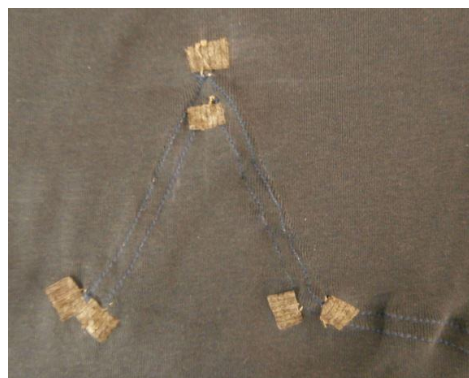
Tabulka 2.4.1.1 – délka jednotlivých segmentů.

Segment	Délka [cm]	Segment	Délka [cm]
1. P	35	1. M	35
2. P	10	2. M	10
3. P	9,5	3. M	9,5

Po vyšití jednotlivých segmentů byly na jeho vrcholy ručně přišity červené LED, obr. 4.2.1.1, tím došlo k propojení obou drah. U LED je nutné dodržet správné zapojení pólů, jinak nebudou fungovat. Nit nemá téměř žádný zákrut, snadno se rozmotává a proto je potřeba ji řádně zajistit, aby nedošlo k uvolnění diod. Její konce byly připevněny lepícím tužením na tričko a přišity na ně kousky pletenin, obr. 2.4.1.4.



Obr. 2.4.1.3 – umístění diod na tričku.



Obr. 2.4.1.4 - upevnění nitě.

Na konce vodivé dráhy byla přišita ručně jedna část vodivého suchého zipu. Ten zde bude sloužit jako propojovací prvek mezi baterií a dráhou. Pro kladný pól byla zvolena část s očky a pro záporný pól část s háčky, obr. 2.4.1.5. Konce vodivé nitě byly zataveny lepidlem z tavné pistole.

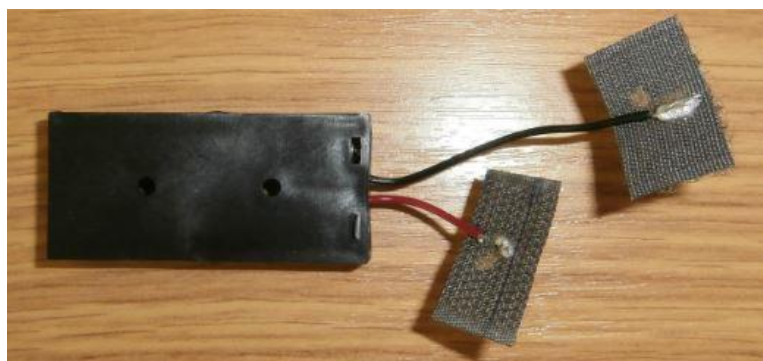


Obr. 2.4.1.5 – propojení vodivé nitě s vodivým suchým zipem.

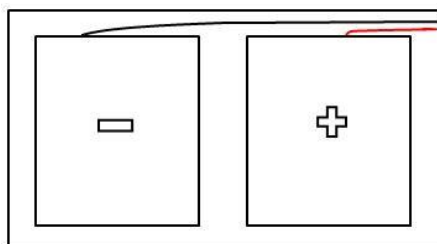
## 2.4.2 Napájení elektrického obvodu

Jako zdroj napájení byly zvoleny dvě AAA baterie s elektrickým napětím 1,5 V. Ty byly vloženy do držáku baterií, který je spojen sériově a vedou z něho dva drátky, z nichž červený představuje kladný pól a černý záporný pól. Elektrické napětí po propojení by tedy mělo být 3 V, skutečně změřeno na multimetru bylo 3,20 V. Toto napětí je dostatečné k rozsvícení diod. Tento způsob napájení je vhodný hlavně z uživatelského hlediska. Pokud dojde k vybití baterií, jednoduše jsou vloženy nové.

Drátky vedoucí z držáku byly propojeny s druhou částí vodivého zipu pájením, obr. 2.4.2.1, kladný pól baterie s očky zipu a záporný pól s jeho háčky. Tento spoj byl zataven lepidlem z tavící pistole, pro jeho větší odolnost. Velcro pásky byly poté připevněny lepidlem na jednu stranu držáku, tak jak je uvedeno na obr. 2.4.2.2 a obr. 2.4.2.3.



Obr. 2.4.2.1 – připájení drátků na velcro pásek.



Obr. 2.4.2.2 – náčrtek propojení baterie s vodivým suchým zipem.



Obr. 2.4.2.3 – baterie s upevněným velcro páskem.

Pokud není nutné mít v obvodu elektrické napětí, je dobré ukončení spojit s příslušnou částí klasického suchého zipu. Kvůli možnému poškození vodivého zipu a také zkratu, kdyby došlo ke spojení odlišných pólů.

Pevnost spoje a také komfortnost nositele by mohla být narušena přímým kontaktem mezi uživatelem a držákem baterie. Proto byla na jeho rubní stranu vytvořena kapsička, obr. 2.4.2.4, pro její uschování. Kapsička je přišita k tričku. Později bylo zjištěno, že pro snadnější manipulaci, by byla vhodná rozebíratelná kapsička, např. se suchými zipy po délce kapsičky.



Obr. 2.4.2.4 – kapsička k uschování baterie.

Po spojení obou konců vodivých zipů, prochází celým obvodem elektrický proud a dojde k rozsvícení diod, obr. 2.4.2.5



Obr. 2.4.2.5 – Signalizační triko po spojení zipů.

### 2.4.3 Hodnoty R na signalizačním triku

Elektrický odpor nemohl být změřen pro celý vodivý obvod, protože odpor diody se mění s poskytovaným elektrickým napětím. To je dáno voltampérovou charakteristikou diody.

Z tohoto důvodu byl obvod rozdělen na 6 segmentů, jak je možno vidět na obr. 2.4.1.2 (str. 57). Naměřené hodnoty odporů jednotlivých částí jsou uvedeny v tabulce 2.4 3.1.

Tabulka 2.4.3.1 – elektrické odpory [ $\Omega$ ] jednotlivých segmentů.

Segment	R [ $\Omega$ ]	Segment	R [ $\Omega$ ]
<b>1. P</b>	5,50	<b>1. M</b>	5,40
<b>2. P</b>	1,50	<b>2. M</b>	1,60
<b>3. P</b>	1,40	<b>3. M</b>	1,50

Signalizační tričko bylo též jako vzorky práno v pěti cyklech. To probíhalo za stejných parametrů. Tričko bylo umístěno do pracího sáčku, aby bylo zamezeno případnému poškození LED. V tabulce 2.4.3.2 jsou uvedeny hodnoty R jednotlivých segmentů po pracích cyklech. Elektrické odpory se pohybují téměř ve stejných hodnotách, k výrazným změnám nedošlo. Nedošlo ani k poškození diod, tričko i po cyklu praní svítí.

Tabulka 2.4.3.2 - naměřené hodnoty po pracím cyklu.

Proces	1.P [ $\Omega$ ]	2.P [ $\Omega$ ]	3.P [ $\Omega$ ]	1.M [ $\Omega$ ]	2.M [ $\Omega$ ]	3.M [ $\Omega$ ]
<b>1. praní</b>	5,80	1,90	1,70	5,70	1,90	1,40
<b>2. praní</b>	5,70	2,00	1,90	6,00	2,40	1,80
<b>3. praní</b>	6,10	1,80	2,30	6,50	2,10	2,40
<b>4. praní</b>	6,50	2,40	2,10	6,30	2,50	2,70
<b>5. praní</b>	6,30	2,50	2,60	6,50	2,40	2,50

Tyto výsledky a samotný zhotovený prototyp signalizačního trička potvrzují vhodnost využití zkoušené šicí nitě v kombinaci s ukončovacím či propojovacím prvkem jako je suchý vodivý zip.

## Závěr

Diplomová práce se zabývá aplikací vodivých drah v oděvech pro spojování senzorů, čidel a elektronických součástek a hodnocením trvanlivosti elektrických parametrů po údržbě.

V rešeršní části diplomové práce jsou popsány obecně inteligentní textilie, jejich rozdělení, principy a aplikace. Podrobněji se zabývá nositelnou elektronikou. Ukazuje různé možnosti aplikací na oděvu od bezpečnostních až po zábavní. Jsou zde popsány její jednotlivé části, které jsou nezbytně nutné ke správnému fungování. Dalším bodem, který je popsán podrobněji, jsou nejrůznější vodivé materiály.

Teoretická část diplomové práce se zabývá převážně výběrem vhodného materiálu k tvorbě vodivých drah a jejich ukončovacích či propojovacích prvků. Nejprve bylo vyzkoušeno šití vodivých drah stehy třídy 301, 304, 401, 504 a 602 Cu drátkem a poté vodivou nití. Měděný drátek se pro šití ukázal jako nevhodný a to zejména kvůli své křehkosti, pokud nedošlo k přetrhu přímo při šití, došlo k přerušení dráhy při praní. Vodivá nit, která zde byla vyzkoušena, se ukázala jako velmi vhodné medium. Její odpor byl zhruba čtyřikrát větší než u Cu drátku, ale hodnoty jsou i tak velmi nízké. Níť, kvůli její vysoké jemnosti, lze ušít pouze stehy 301, 304 a 602. U ostatních stehů, docházelo k přetrhům vlivem tření o vodiče. Jako nejvhodnější vyšel steh třídy 301, který má oproti stehu 602 zhruba sedmkrát nižší spotřebu šicího materiálu a tedy i odpor, je zhruba sedmkrát nižší. R vodivé nitě se téměř nezměnil ani po pracím cyklu. Dalším způsobem vytvoření vodivé dráhy byl tunýlek vytvořený z tkalounu s vloženým Cu drátkem. U něj nedocházelo k žádnému namáhání šitím a nepopraskal tudíž ani při praní. Posledním způsobem tvorby drah bylo využití vodivé stuhy, která má hodnoty elektrického odporu, srovnatelné s Cu drátkem.

Na všech jmenovaných způsobech byly vyzkoušeny dva druhy ukončení. Ukončení druky a suchými vodivými zipy. Spojení dráhy a oděvního druku bylo u Cu drátku a vodivé stuhy provedeno připájením na měděný plíšek. U ukončení vodivé nitě byla vytvořena stehem 304 spirála a do jejího středu umístěn druk. V případech, kde bylo využito pájení je velmi nutné spoj zatavit lepidlem, kvůli možnému poškození spoje při praní. Hodnoty elektrických odporů vodivých drah propojených s oděvními druky se téměř vůbec nezměnily po provedení spoje ani po pracím cyklu. Druhým

způsobem ukončení bylo použití vodivého suchého zipu. Propojení mezi drahou a velcro páskem bylo u Cu drátku a vodivé stuhy uskutečněno pájením a zatavením lepidlem, kvůli větší odolnosti spoje. Po propojení se odpor zvedl zhruba sedmkrát, hodnota je ale i tak velmi nízká. Při pracím cyklu došlo k výraznějším změnám elektrických odporů. Z tohoto důvodu je tento spoj vhodný pouze tam, kde není potřeba práť, např. propojení s baterií. Vodivá nit byla propojena prošitím vodivého zipu. Vhodnější způsob je ruční prošití, kvůli velkému průměru nitě. Zde se zvýšil odpor zhruba o 65 %, ale i tak jde o nízké hodnoty. Při pracím cyklu už se hodnoty výrazně neměnily. U tohoto propojovacího prvku byl, navíc zkoumán cyklus otevření/zavření. Bylo zjištěno, že tento faktor výsledný  $R$  nijak významně neovlivňuje.

Z těchto vyzkoušených možností byla vybrána vodivá nit s ukončením suchými vodivými zipy pro tvorbu signalizačního trička. Ta má sice čtyřikrát vyšší odpor než Cu drátek či vodivá stuha, ale i tak jsou hodnoty velmi nízké, a je nejvhodnější k propojení s velcro páskem. Při porovnání  $R$  spojení druku a zipu, vychází lépe druky, u nichž nedojde téměř k žádnému zvýšení elektrického odporu. Vodivý velcro je ale jejich dobrou textilní alternativou v nositelné elektronice.

Na tričko byly zhotoveny dvě vodivé dráhy, představující kladný a záporný pól. K nim byly přišity LED, které se dají s oděvem práť. Konce vodivých drah byly propojeny s vodivým suchým zipem ručním prošitím. Aby nedošlo k záměně pólu a tím zkratu, byl zvolen pro každý pól jiný konec zipu. Jako zdroj napájení byly zvoleny dvě sériově zapojené AAA baterie o celkovém naměřeném napětí 3,2 V, které je dostatečné k napájení diod. Propojení se zipem bylo provedeno připájením drátků z držáku baterií. Tyto spoje byly zataveny a přilepeny na držák baterií. Tričko bylo vypráno v pěti cyklech a odpory se též téměř nezměnily.

Naměřené hodnoty  $R$  a prototyp signalizačního trička dokazují, že lze již využít k vytvoření vodivých obvodů výhradně textilní výrobky, mimo LED a zdroje. Vodivý suchý zip je dobrou variantou oděvních druků. Bylo by však dále vhodné zamyslet se nad jeho propojením s vodivou stuhou, která má též vynikající hodnoty odporů. Pro napájení obvodu, by byla vhodná i Li-Ion baterie, u které je ovšem problém s nabíjením. Pro tento účel by byl potřeba speciální obvod, který by ale navýšil cenu výrobku. Dále by bylo vhodné vyřešit spínač obvodu, aby nemusel být spoj pokaždé rozebírán.

## Literatura

- [1] Inteligence. *Intelligence.cz* [online]. 2007 [cit. 2011-11-15]. Dostupné z: <http://www.intelligence.cz/>
- [2] *Intelligent textiles and clothing/ edited by H. R. Mattila*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2006, 506 s. ISBN 1-84569-005-2.
- [3] *Wearable electronics and photonics: edited by Xiaoming Tao*. Cambridge: Woodhead Publish Limited, 2007. ISBN 987-1-85573-605-5.
- [4] Inteligentní textilie. *Fakulta textilní TUL* [online]. 2003 [cit. 2011-12-10]. Dostupné z: [http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/inteligentni\\_textilie.pdf](http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/inteligentni_textilie.pdf)
- [5] Současný stav v oboru inteligentních a interaktivních textilií. *Mateo Tetrinno Smartex* [online]. 2006 [cit. 2011-10-17]. Dostupné z: <http://www.mateo.ntc.zcu.cz/news.php>.
- [6] Applycon s.r.o. - nositelná elektronika. *Fakulta textilní TUL* [online]. 2010 [cit. 2011-11-16]. Dostupné z: <http://www.ft.tul.cz/projekty/KITTOP/download/firmy/applycon.pdf>.
- [7] HAVELKA, Antonín a Zdeněk KŮS. The transport phenomena of semi-permeable membrane for sport cloth. *International Journal of Clothing Science and Technology* [online]. 2011, č. 23, 119 - 130 [cit. 2011-12-12]. ISSN 0955-6222. DOI: 10.1108/09556221111107315. Dostupné z: <http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=1926084>
- [8] HAVELKA, Antonín a Zdeněk KŮS. *The Physiological Properties of Smart Textiles and Moisture Transport through Clothing Fabrics*: In: 6th INTERNATIONAL THERMAL MANIKIN AND MODELLING MEETING (6I3M) [online]. Hong Kong: The Hong Kong Polytechnic University, 2006[cit. 2011-12-12]. ISBN 96-236-7534-8. Dostupné z: [http://www.lboro.ac.uk/microsites/lds/EEC/ICEE/textsearch/manikin%20meeting%2006/2nd%20publish%20Proceeding\\_all-in-one\[061005\]rev02.pdf](http://www.lboro.ac.uk/microsites/lds/EEC/ICEE/textsearch/manikin%20meeting%2006/2nd%20publish%20Proceeding_all-in-one[061005]rev02.pdf)
- [8] *Medical connectivity* [online]. 2006 [cit. 2013-01-06]. Dostupné z: <http://medicalconnectivity.com/2006/05/09/sensatex-to-test-novel-sensor-technology/>



- [9] Cyklistická bunda s blinkry a brzdovými světly. *Hw.cz* [online]. 2012 [cit. 2013-10-11]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/trendy/cyklisticka-bunda-s-blinkry-a-brzdovymi-svetly.html>
- [10] Fuse solar charger. *Voltaic* [online]. 2012 [cit. 2013-01-06]. Dostupné z: <http://www.voltaicsystems.com/>
- [11]: Communication - Bluetooth Stereo Music and Headset Ski Helmet with Glove Control. *TEXSYS - WEARABLE TECHNOLOGY* [online]. 2010 [cit. 2012-09-14]. Dostupné z: <http://www.texsys.de/products/BThelmet.html>
- [12] HES, Luboš; SLUKA, Petr. *Úvod do komfortu textilií. první*. Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2005. 109 s. ISBN 80-7083-926-0.
- [13] Termočlánky. *Omega engineering-technické reference* [online]. 2007 [cit. 2012-11-11]. Dostupné z: <http://www.omegaeng.cz/prodinfo/thermocouples.html>
- [14] BLOOR, D., A. GRAHAM, E. J. WILLIAMS, P. J. LAUGHLIN a D. LUSSEY. Metal?polymer composite with nanostructured filler particles and amplified physical properties. *Applied Physics Letters* [online]. 2006, roč. 88, č. 10, s. 102103- [cit. 2012-10-01]. ISSN 00036951. DOI: 10.1063/1.2183359. Dostupné z: <http://link.aip.org/link/APPLAB/v88/i10/p102103/s1>
- [15] Quantum tunneling metal-polymer composites. *Photonics, sensors & materials group* [online]. 2010 [cit. 2012-04-07]. Dostupné z: <http://www.dur.ac.uk/psm.group/qtc.html#>
- [16] Optical fiber sensors (OFS). *Optical fiber sensors (OFS)* [online]. 2009 [cit. 2013-01-11]. Dostupné z: [http://www.immt.pwr.wroc.pl/~gasior/Researches/Optical\\_sensors/optical\\_sensors.htm](http://www.immt.pwr.wroc.pl/~gasior/Researches/Optical_sensors/optical_sensors.htm)
- [17] Light emitting diodes. *Light emitting diodes* [online]. 2008 [cit. 2012-08-06]. Dostupné z: <http://www.ecse.rpi.edu/~schubert/Light-Emitting-Diodes-dot-org/>
- [18] HAVELKA, Antonín; BAXA, Milan. SMART CLOTHING. *7th International Conference - TEXSCI 2010* [online]. 2010, 1, [cit. 2011-12-12]. Dostupné z: [http://wjoe.hebeu.edu.cn/sup.2010/Clothing%20Science%20and%20Technology/12\\_p\\_havelka.pdf](http://wjoe.hebeu.edu.cn/sup.2010/Clothing%20Science%20and%20Technology/12_p_havelka.pdf).

- [19] RIUS, Josep, et al. Electrical characterization of conductive ink layers on textile fabrics: Model and experimental results. *XXII Conference on Design of Circuits and Integrated Systems* [online]. 2007, [cit. 2011-09-14]. Dostupné z: <<http://dit.upc.es/lpdntt/rius/web/paper29.pdf>>.
- [20] Prof. Ing. Militký, J.: *TEXTILNÍ VLÁKNA, Speciální vlákna*, 2. Vydání, Liberec 2007, Technická univerzita v Liberci, ISBN 978-80-7372-169-1
- [21] MARŠÁLEK, Leoš. Optická vlákna. *VŠB - Technická univerzita Ostrava [online]. Ostrava, 2006. 172 s. Dostupné z: <<http://goro.czweb.org/download/interest/vlakna.pdf>>.*
- [22] Worlds First Elastic Electric/Data/USB Cables - Roboden. *Digiinfo.tv* [online]. 2011 [cit. 2011-12-15]. Dostupné z: <<http://www.diginfo.tv/2011/12/01/11-0249-r-en.php>>.
- [23] Grafen - materiál budoucnosti. *Fyzmatik.píše* [online]. 2009 [cit. 2012-06-01]. Dostupné z: <http://fyzmatik.pise.cz/122032-grafen-material-budoucnosti.html>
- [24] Conductive Hook and Loop. *Inventables* [online]. 2010 [cit. 2012-10-17]. Dostupné z: <https://www.inventables.com/technologies/conductive-hook-and-loop>
- [25] Zippers. *SHIELDEX [online]. 2012 [cit. 2012-10-17]. Dostupné z: <http://www.shieldextrading.net/zippers.html>*
- [26] Products. *Ohmatex: Smart textile technology* [online]. 2012 [cit. 2012-10-31]. Dostupné z: [http://www.ohmatex.dk/indhold.php?page\\_id=35](http://www.ohmatex.dk/indhold.php?page_id=35)
- [27] The ribbon. *Fabrick.it* [online]. 2010 [cit. 2012-10-31]. Dostupné z: <http://fabrick.it/ribbon/ribbon/>
- [28] ČSN ISO 4915 (80 0111). *Druhy stehů: Třídění a terminologie*. Praha: Český normalizační institut, 1993, 44 s.
- [29] ČSN 800059. *Textilie - Stanovení elektrického odporu*. Praha: Český normalizační institut, 1985, 12 s.
- [30] ČSN EN ISO 6330 (800821). *Textilie - Postupy domácího praní a sušení pro zkoušení textilií*. Praha: Český normalizační institut, 2001.

- [31] Photochromic Pigments. *FX PIGMENTS PVT. LTD.* [online]. 2012 [cit. 2013-01-12]. Dostupné z: <http://fxpigments.tradeindia.com/photochromic-pigments-987535.html>
- [32] Experiments. *The perceptionalist* [online]. 2012 [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://theperceptionalist.com/category/experiments/>
- [32] PCM (Phase Changing Materials) (Super Sustainable City). *Tekes* [online]. 2010 [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: [https://tekedico.net/blogs/show/482/0/14727/PCM\\_%2528Phase\\_Changing\\_Materials%2529\\_%2528Super\\_Sustainable\\_City%2529](https://tekedico.net/blogs/show/482/0/14727/PCM_%2528Phase_Changing_Materials%2529_%2528Super_Sustainable_City%2529)
- [33] Oricalco, Shape Memory Fabric. *Emplankton* [online]. 2009 [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://emplankton.blogspot.cz/2009/01/oricalco-shape-memory-fabric.html>
- [34] Never Have Cold Fingers Again. *News from gadgets' world* [online]. 2007 [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://blog.pcnews.ro/2007/09/09/never-have-cold-fingers-again/>
- [35] Výroba oděvů-Spojovací proces 1. *Katedra oděvnictví, FT TUL* [online]. 2007 [cit. 2013-01-11]. Dostupné z: [http://www.kod.tul.cz/info\\_predmety/Ode/podklady\\_k\\_prednaskam/ODE\\_7\\_WEB2\\_LS\\_kombinace%20p%C5%99ed%C3%A1%C5%A1ek\\_sojovac%C3%AD%20proces.pdf](http://www.kod.tul.cz/info_predmety/Ode/podklady_k_prednaskam/ODE_7_WEB2_LS_kombinace%20p%C5%99ed%C3%A1%C5%A1ek_sojovac%C3%AD%20proces.pdf)

## Seznam obrázků

Obr. 1.2.1 – triko s fotochromním potiskem před a po vystavení UV nebo slunečním záření [31].

Obr. 1.2.2 – látka s termochromním barvivem při zahřívání a po zahřátí [32].

Obr. 1.2.3 – znázornění změn skupenství u PCM [32].

Obr. 1.2.4 – „Oricalco“ košile z tkaniny z NiTiNolu [33].

Obr. 1.3.1 - vyhřívané rukavice [34].

Obr. 1.3.1.1 – prototyp inteligentní košile [8].

Obr. 1.3.1.2 – inteligentní košile Sensatex [8].

Obr. 1.3.1.3 – podprsenka pro komfort [5].

Obr. 1.3.1.4 – cyklistická signalizační bunda [9].

Obr. 1.3.1.5 – signalizační systém [9].

Obr. 1.3.1.6 - solární batoh firmy Voltaic systém [10].

Obr. 1.3.1.7 – lyžařská helma společnosti TEXSYS [11].

Obr. 1.3.1.8 – ovládací panel smart bundy se snímačem z QTC [15].

Obr. 1.3.1.9 – princip Braggovy mřížky [16].

Obr. 1.3.1.10 – LED [17].

Obr. 1.3.1.11 – propojení druku s vodivou drahou [18].

Obr. 1.4.1 – textilie s vodivým inkoustem [19].

Obr. 1.4.2.1 – elastický pružný kabel ROBODEN [22].

Obr. 1.4.2.2 – struktura grafenu [23].

Obr. 1.4.2.3 – vodivý suchý zip [24].

Obr. 1.4.2.4 – tkané vodivé stuhy [27].

Obr. 2.1.1.1 – dvounitný vázaný steh třída 301 [35].

Obr. 2.1.1.2 – dvounitný vázaný steh klikatý třída 304 [28].

Obr. 2.1.1.3 – řetízkový steh třída 401 [35].

Obr. 2.1.1.4 – obnitkovací steh třída 504 [35].

Obr. 2.1.1.5 – krycí steh třída 602 [28].

Obr. 2.1.1.6 – steh 301 vytvořený Cu drátkem a PL nití.

Obr. 2.1.1.7 – steh 301 vytvořený vodivou nití.

Obr. 2.1.1.8 – steh 304 šitý Cu drátkem.

Obr. 2.1.1.9 – steh 304 šitý vodivou nití.

Obr. 2.1.1.10 – steh 401 šitý Cu drátkem a PL nití.

Obr. 2.1.1.11 – steh 504 ušitý Cu drátkem a PL nití.

Obr. 2.1.1.12 – steh 602 šitý Cu drátkem a PL nití.

Obr. 2.1.1.13 – steh 602 šitý vodivou nití.

Obr. 2.1.2.1 – vodivá dráha vytvořená z tkalounu a měděného drátku.

Obr. 2.1.3.1 – pocínované konce stuhy.

Obr. 2.2.1.1 – vrchní a spodní část druku.

Obr. 2.2.2.1 – ukončení vodivé dráhy vodivým velcro páskem.

Obr. 2.3.1.1 – závislost R na druhu použitého stehu pro vytvoření vodivé dráhy.

Obr. 2.3.2.1 – závislost R na druhu použitého stehu pro vytvoření vodivé dráhy.

Obr. 2.3.2.2 – průměrné naměřené hodnoty změn R vodivé dráhy z vodivé nitě ušité stehem 301 po pracím cyklu.

Obr. 2.3.2.3 – průměrné naměřené hodnoty změn R vodivé dráhy z vodivé nitě ušité stehem 304 po pracím cyklu.

Obr. 2.3.2.4 – průměrné naměřené hodnoty změn R vodivé dráhy z vodivé nitě ušité stehem 602 po pracím cyklu.

Obr. 2.3.2.5 – naměřené průměrné hodnoty R po cyklech o/z a praní vodivé dráhy z vodivé nitě, vytvořené stehem 301.

Obr. 2.3.3.1 – průměrné hodnoty naměřených R vodivé dráhy z Cu tunýlku ukončené drukem po pracích cyklech.

Obr. 2.3.3.2 – naměřené průměrné hodnoty R po cyklech o/z a praní vodivé dráhy z Cu drátku vloženého do tunýlku.

Obr. 2.3.4.1 – průměrné hodnoty naměřených elektrických odporů po pracích cyklech.

Obr. 2.3.4.2 – naměřené průměrné hodnoty R po cyklech o/z a praní vodivé dráhy z vodivé stuhy.

Obr. 2.4.1.1 – náčrtek pánského trička s vyšitou vodivou drahou.

Obr. 2.4.1.2 – rozdělení dráhy na jednotlivé segmenty.

Obr. 2.4.1.3 – umístění diod na tričku.

Obr. 2.4.1.4 - upevnění nitě.

Obr. 2.4.1.5 – propojení vodivé nitě s vodivým suchým zipem.

Obr. 2.4.2.1 – připájení drátků na velcro pásek.

Obr. 2.4.2.2 – náčrtek propojení baterie s vodivým suchým zipem.

Obr. 2.4.2.3 – baterie s upevněným velcro páskem.

Obr. 2.4.2.4 – kapsička k uschování baterie.

Obr. 2.4.2.5 – signalizační triko po spojení zipů.

## Seznam tabulek

Tabulka 2.1.1.1 – průměrná spotřeba d Cu drátku na vytvoření stehů.

Tabulka 2.3.1.1 – naměřené průměrné hodnoty šitých vodivých drah bez ukončení, s ukončením druky a po jednom vyprání.

Tabulka 2.3.2.1 - naměřené průměrné hodnoty R vodivých drah vytvořených z vodivé nitě bez ukončení a s ukončením druky.

Tabulka 2.3.2.2 – naměřené průměrné hodnoty R šité vodivé dráhy s ukončením druky před a po pracím cyklu.

Tabulka 2.3.2.3 – naměřené průměrné hodnoty vodivé dráhy z vodivé nitě před ukončením, po ukončení suchým zipem, po cyklech o/z a praní.

Tabulka 2.3.3.1 - naměřené průměrné hodnoty R tunýlku s Cu drátkem ukončené drukem před a po údržbě.

Tabulka 2.3.3.2 – naměřené průměrné hodnoty R tunýlku před ukončením, po ukončení vodivým zip a po cyklech o/z a praní.

Tabulka 2.3.4.1 – naměřené průměrné hodnoty R vodivé dráhy z vodivé stuhy s ukončením druky.

Tabulka 2.3.4.2 – naměřené průměrné hodnoty vodivé dráhy z vodivé stuhy ukončené suchým zipem po cyklech o/z a praní.

Tabulka 2.4.1.1 – délka jednotlivých segmentů.

Tabulka 2.4.3.1 – elektrické odpory [ $\Omega$ ] jednotlivých segmentů.

Tabulka 2.4.3.2 - naměřené hodnoty R [ $\Omega$ ] po pracím cyklu.

## **Příloha 1**

Použité materiály ke zhotovení vodivých drah



## **Textilní materiál**

Materiálové složení: 100 CO.

Vazba: plátňová.

Dostava: 370x230.

## **Měděný drátek**

Pro zhotovení vodivých drah byl použit měděný drátek od firmy ELEKTRISOLA.

Materiál: polakovaná měď.

Průměr: 0,118 mm.

Návin: 125 km.



## **Vodivá šicí nit**

K šití vodivých drah byla využita i vodivá nit Conductive Thread - 234/34 4ply od firmy Shieldex.

Materiálové složení: postříbřený PA.

Elektrický odpor: 50  $\Omega$ /m.

Jemnost nitě: 92 tex.

Průměr: 0,2 mm.



### **Vodivá stuha**

K dalšímu vytvoření vodivé dráhy, byla využita vodivá stuha s dvěma vodiči, vyrobená firmou ELEKTRISOLA.

Materiál: vodivá vlákna stříbrný multifil, jako izolace 100 % PL.

Šířka: 0,5 cm.

Elektrický odpor udávaný výrobcem: 1,70  $\Omega$ /m.



### **Tkaná stužka**

Tkaná stužka byla využita pro vytvoření tunýlku pro vedení vodivého Cu drátku.

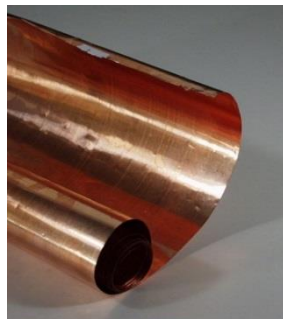
Materiálové složení: 100% vlna.

Šířka proužku: 1,5 cm.

Vazba: kepr.

## Měděný plíšek

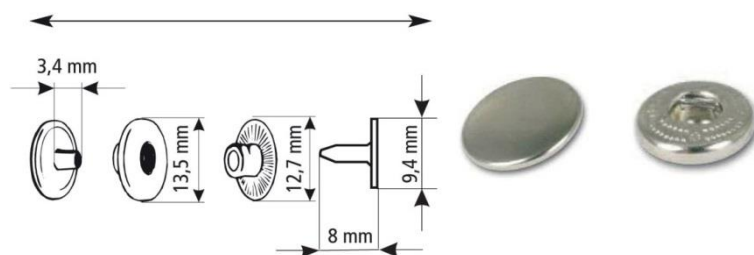
K propojení Cu drátku a vodivých stuh byl použit měděný plíšek, na který byl připájen daný materiál.



## Druky

K ukončování drah byly využity druhy od firmy KOH-I-NOOR, typ WUK 6.

Průměrný R: 0,18  $\Omega$ .



## Vodivý suchý zip

Jako druhá varianta k ukončování vodivých drah byly využity vodivé suché zipy.

Materiál: postříbřený Nylon.

Průměrný R spojeného zipu: 0,69  $\Omega$ .

Předpokládaný počet cyklů otevření/zavření: 5000.

Šířka: 2,5 cm.



## LilyPAD LED

Použité LED od firmy Sparkfun electronics, jsou pratečné. Maximální napětí je 4 V. Mají v sobě obsažený odpor 100  $\Omega$ .



## Baterie

K napájení byly zvoleny dvě baterie AAA 1,5 V. Ty byly vloženy do držáku baterií, který je sériově propojil.



## **Příloha 2**

Použité přístroje ke zhotovení vodivých drah

### Šicí stroj Brother DB2-B721-3

Jednohlový šicí stroj s dvounitným vázaným stehem. Technické parametry:

- Maximální šicí rychlost: 5000 ot/min.
- Maximální délka stehu: 4 mm.
- Chapač: rotační chapač.



### Šicí stroj Brother DT4-B261-012-0

Jednohlový řetízkový šicí stroj. Technické parametry:

- Maximální rychlost: 6000 ot/min.



## Šicí stroj Singer 831

Vysokorychlostní jednojehlový obnitkovací stroj. Technické parametry:

- Maximální rychlost: 5500 ot./min
- Plně automatický mazací systém.
- Chlazení jehly pro spolehlivé vysokorychlostní šití.
- Snadné nastavení diferenciálního posuvu.
- Možnost úprava řezacího výkonu pomocí nastavení úhlu čepele.



## Šicí stroj Brother FD4-B272

Dvoujehlový šicí stroj se spodem i vrchem krycím stehem. Technické parametry:

- Maximální rychlost: 6500 ot./min.
- Délka stehu: 3,6 mm.
- Plně automatický mazací systém.
- Napětí: 110 V nebo 220 V.



### **Pájecí stanice s regulovatelnou teplotou ZD-929B**

Mikropájka 929 B je stanice s elektronickou regulací teploty. Umožňuje nastavení teplot v rozsahu 150 °C – 420 °C bez nutnosti výměny hrotu nebo jakékoli části. Teplota hrotu kolísá  $\pm 5$  °C. Pájecí rukojeť je od stanice (AC napájení) izolována transformátorem. Elektrická regulace chrání části citlivé na napětí a proud, u mechanické regulace občas dochází k přetěžování těchto částí. Technické parametry:

- Napájení topného tělíska: 24 V.
- Bod tání: 215 °C.
- Běžná práce: 215 °C- 300 °C.
- Výrobní linková činnost: 320 °C – 280 °C.
- Odpájení pro malé pájecí body: 315 °C.
- Odpájení pro velké pájecí body: 400 °C



### **Pájecí cín Sn 40 Pb MII 408**

Standardní cínoolověná pájka určená pro elektrotechniku plněná aktivovanou kalafunou. Technické parametry:

- Teplota tavení: 183-235 °C.
- Doporučená min. teplota hrotu páječky: 320-370 °C.
- Průměr: 1,5 mm.





### **Mechanický drukovací stroj S3**

Ruční lis S3 se používá na zavírání AUTO-MOTO, WUK, ROLAND STYLE, ROLAND BABY a průchodky s podložkou. Před samotným připevňováním výrobku je nutné nastavit správný doraz ručního lisu pomocí šroubovací matice, aby nedošlo k poškození výrobku. Technické parametry:

- Pracovní výška: 44 mm.
- Pracovní hloubka: 95 mm.
- Rozměry: 90x180x320 mm.
- Hmotnost: 3 kg.



### **Tavící pistole EINHELL BAVARIA BKP 200**

Technické parametry:

- Napětí: 230 V.
- Výkon: 65 W.
- Doba nutná k nahřátí lepidla: cca 5 min.
- Pracovní teplota: 170°C.
- Průměr tavné tyčky: 11mm.



## **Automatická pračka Samsung WF-F 1062**

Technické parametry:

- Energetická třída: A
- Třída pracího výkonu: A
- Třída účinnosti odstřeďování: C
- Maximální počet otáček za minutu: 1000 ot./min
- Kapacita prádla pro praní: 4,5 kg
- Spotřeba energie při praní 60°C: 0,86 kWh
- Spotřeba vody při praní: 46 l
- Hlučnost při praní: 56 dB
- Hlučnost při máchání: 70 dB
- Regulace spotřeby vody: automatická
- Keramické topné těleso
- Máchání + odstředění
- Ochrana proti mačkání, pění a proti přehřátí
- Samočisticí filtr
- Materiál vany: plastová vana



## **Příloha 3**

Přístroje použité k měření elektrického odporu

## Digitální multimetr true rms FLUKE 189

Technické parametry:

- Napětí DC: maximální rozlišení 1  $\mu\text{V}$   
maximum 1000 V
- Napětí AC: maximální rozlišení 1  $\mu\text{V}$   
maximum 1000 V
- DC proud: maximální rozlišení 1  $\mu\text{A}$
- Odpor: maximální rozlišení 0,01  $\Omega$   
maximum 500 M $\Omega$
- Kapacitance: maximální rozlišení 1 pF  
maximum 50 000  $\mu\text{F}$
- Frekvence: maximální rozlišení 0,01 Hz  
maximum 1 MHz
- Teplota: maximální rozlišení 0,1  $^{\circ}\text{C}$   
rozsah od -200 $^{\circ}\text{C}$  do 1350 $^{\circ}\text{C}$
- Konduktance: maximální rozlišení 0,01 nS  
maximum 500 nS
- Rozměry: 203 x 100 x 50 mm



## **Příloha 4**

Naměřené hodnoty elektrického odporu a použité vzorce

**Použité vzorce**

Pro výpočet průměrů byl využit vzorec:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Vzorec pro výpočet směrodatné odchylky:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Vzorec pro výpočet variačního koeficientu:

$$v = \frac{s}{\bar{x}} * 100 [\%]$$

**Spotřeba šicího materiálu k vytvoření stehu**

Spotřeba d [cm] šicího materiálu na vytvoření stehu [cm]						
Druh stehu	1. měření	2. měření	3. měření	$\bar{d}$ [cm]	s	v
<b>301</b>	10,50	11,20	11,60	11,10	0,45	4,10
<b>304</b>	19,10	19,70	19,90	19,60	0,34	1,70
<b>401</b>	11,40	11,10	11,00	11,20	0,17	1,50
<b>504</b>	43,10	42,20	40,00	41,80	1,30	3,10
<b>602</b>	82,50	82,90	82,30	82,60	0,25	0,30

**Elektrické odpory vodivých drah z měděného drátku**

Odpor [ $\Omega$ /m] měděného drátku bez ukončení druky							
Druh stehu	Cu drátek	1. měření	2. měření	3. měření	$\bar{R}$ [ $\Omega$ /m]	s	v
<b>301</b>	Spodní nit	4,20	3,80	4,50	4,20	0,35	8,40
<b>301</b>	Spodní + jehelní nit	4,30	4,60	3,90	4,30	0,35	8,20
<b>304</b>	Spodní nit	6,20	5,70	6,60	6,20	0,45	7,30
<b>401</b>	Spodní nit	5,90	4,10	4,30	4,80	0,99	20,70
<b>504</b>	Jehelní nit	16,60	16,70	14,00	15,80	1,53	9,70
<b>602</b>	Spodní nit	20,00	19,90	19,90	19,90	0,06	0,30

Odpor [ $\Omega$ /m] měděného drátku po ukončení druky							
Druh stehu	Cu drátek	1. měření	2. měření	3. měření	$\bar{R}$ [ $\Omega$ /m]	s	v
<b>301</b>	Spodní nit	4,40	3,90	4,40	4,20	0,29	6,80
<b>301</b>	Spodní + jehelní nit	4,50	4,60	3,90	4,30	0,38	8,70
<b>304</b>	Spodní nit	6,50	5,90	6,90	6,40	0,5	7,80
<b>401</b>	Spodní nit	5,90	4,00	4,30	4,70	1,02	21,50
<b>504</b>	Jehelní nit	16,70	16,60	14,10	15,80	1,47	9,30
<b>602</b>	Spodní nit	20,10	19,60	20,10	19,90	0,29	1,40

Odpor vodivé dráhy [ $\Omega/\text{m}$ ] s ukončením druky po vyprání							
Druh stehu	Cu drátek	1. měření	2. měření	3. měření	průměr	s	v
301	Spodní nit	přerušení	přerušení	16,20	přerušení	přerušení	přerušení
301	Spodní + vrchní nit	přerušení	přerušení	přerušení	přerušení	přerušení	přerušení
304	Spodní nit	přerušení	45,10	23,90	přerušení	přerušení	přerušení
401	Spodní nit	přerušení	přerušení	přerušení	přerušení	přerušení	přerušení
504	Jehelní nit	přerušení	11,70	449,40	přerušení	přerušení	přerušení
602	Spodní nit	24,80	21,90	45,90	30,90	13,1	28,50

### Elektrické odpory vodivých drah z vodivé nitě

Odpor vodivé nitě [ $\Omega/\text{m}$ ]					
1. měření	2. měření	3. měření	$\bar{R}$ [ $\Omega/\text{m}$ ]	s	v
14,30	13,80	13,90	14,00	0,22	1,50

Odpor šitých vodivých drah bez ukončení [ $\Omega/\text{m}$ ]							
Druh stehu	Vodivá nit	1. měření	2. měření	3. měření	$\bar{R}$ [ $\Omega/\text{m}$ ]	s	v
301	spodní	13,50	14,20	14,30	14,00	0,44	3,10
304	spodní	20,70	20,20	17,80	19,60	1,55	7,90
602	vrchní krycí	70,60	70,40	78,70	73,20	4,74	6,50

Odpor šitých vodivých drah ukončených drukem [ $\Omega/\text{m}$ ]							
Druh stehu	Vodivá nit	1. měření	2. měření	3. měření	$\bar{R}$ [ $\Omega/\text{m}$ ]	s	v
301	spodní	15,30	15,00	14,60	14,90	0,35	2,30
304	spodní	20,20	20,70	22,20	21,00	1,04	4,90
602	vrchní krycí	76,30	80,70	80,60	79,20	2,51	3,20

Odpor šité vodivé dráhy stehem 301 s ukončením druky po pracím cyklu [ $\Omega/m$ ]						
Proces	1. měření	2. měření	3. měření	$\bar{R}$ [ $\Omega/m$ ]	s	v
1. praní	15,10	16,10	15,40	15,50	0,51	3,30
2. praní	13,30	14,20	13,90	13,80	0,46	3,30
3. praní	14,40	16,50	14,80	15,20	1,12	7,30
4. praní	14,00	15,60	13,90	14,50	0,95	6,60
5. praní	14,60	15,90	15,40	15,30	0,66	4,30

Odpor šité vodivé dráhy stehem 304 s ukončením druky po pracím cyklu [ $\Omega/m$ ]						
Proces	1. měření	2. měření	3. měření	$\bar{R}$ [ $\Omega/m$ ]	s	v
1. praní	19,90	25,50	24,40	23,30	2,97	12,80
2. praní	22,50	23,20	19,90	21,90	1,74	7,90
3. praní	20,30	25,90	23,50	23,20	2,81	12,10
4. praní	19,20	24,50	26,50	23,40	3,77	16,10
5. praní	22,40	25,40	26,10	24,60	1,97	7,90

Odpor šité vodivé dráhy stehem 602 s ukončením druky po pracím cyklu [ $\Omega/m$ ]						
Proces	1. měření	2. měření	3. měření	$\bar{R}$ [ $\Omega/m$ ]	s	v
1. praní	82,60	74,10	79,90	78,90	4,34	5,50
2. praní	77,40	69,60	80,50	75,80	5,62	7,40
3. praní	84,40	75,10	77,60	79,00	4,81	6,10
4. praní	82,10	75,80	80,30	79,40	3,24	4,10
5. praní	83,70	79,40	80,10	81,10	2,31	2,90

Odpor [ $\Omega/m$ ] šité vodivé dráhy ukončené suchým vodivým zipem po cyklu o/z a praní						
Proces	1. měření	2. měření	3. měření	$\bar{R}$ [ $\Omega/m$ ]	s	v
10x o/z	25,70	24,30	24,90	25,00	0,70	2,80
1. praní	24,30	24,90	25,30	24,80	0,50	2,00
10x o/z	24,40	25,20	25,60	25,10	0,61	2,40
2. praní	29,60	12,00	22,30	21,30	8,84	41,50
10x o/z	30,00	11,80	22,50	21,40	9,15	42,70
3. praní	26,80	11,60	29,50	22,60	9,65	42,60
10x o/z	26,70	12,90	29,40	23,00	8,85	38,50
4. praní	22,40	21,30	28,30	24,00	3,76	15,70
10x o/z	22,20	23,00	27,90	24,40	3,09	12,70
5. praní	22,10	25,90	28,80	25,60	3,36	13,10



**Elektrické odpory vodivých drah z tunýlku s měděným drátkem**

Odpor tunýlku s měděným drátkem [ $\Omega/m$ ]					
1. měření	2. měření	3. měření	$\bar{R}$ [ $\Omega/m$ ]	s	v
3,40	3,50	3,20	3,40	0,15	4,50

Odpor tunýlku s měděným drátkem [ $\Omega/m$ ] po ukončení a po pracím cyklu						
Proces	1. měření	2. měření	3. měření	$\bar{R}$ [ $\Omega/m$ ]	s	v
<b>Po ukončení</b>	3,30	3,60	2,90	3,30	0,35	10,70
<b>1. praní</b>	4,80	3,90	3,30	4,00	0,75	18,90
<b>2. praní</b>	5,10	4,60	3,30	4,30	0,93	21,50
<b>3. praní</b>	6,30	5,90	3,40	5,20	1,57	30,20
<b>4. praní</b>	6,50	6,00	3,40	5,30	1,66	31,40
<b>5. praní</b>	6,50	6,10	3,40	5,30	1,69	31,60

Naměřené hodnoty $R$ [ $\Omega/m$ ] tunýlku po připájení na vodivý zip a cyklech o/z a praní						
Proces	1. měření	2. měření	3. měření	$\bar{R}$ [ $\Omega/m$ ]	s	v
<b>Po ukončení</b>	13,90	14,50	13,40	13,90	0,55	3,90
<b>10x o/z</b>	14,00	14,30	13,70	14,00	0,30	2,10
<b>1. praní</b>	23,40	20,20	22,00	21,90	1,60	7,30
<b>10x o/z</b>	23,80	22,00	23,50	23,10	0,96	4,20
<b>2. praní</b>	25,70	24,90	25,10	25,20	0,42	1,70
<b>10x o/z</b>	25,00	25,30	25,20	25,20	0,15	0,60
<b>3. praní</b>	29,80	31,50	34,70	32,00	2,49	7,80
<b>10x o/z</b>	30,00	32,40	33,80	32,10	1,92	6,00
<b>4. praní</b>	35,80	39,90	40,70	38,80	2,63	6,80
<b>10x o/z</b>	35,90	38,40	41,10	38,50	2,60	6,80
<b>5. praní</b>	44,30	46,40	46,90	45,90	1,38	3,00

**Elektrické odpory vodivých drah z vodivé stuhly**

Naměřené hodnoty $R$ vodivé dráhy z vodivé stuhly [ $\Omega/m$ ]					
1. měření	2. měření	3. měření	$\bar{R}$ [ $\Omega/m$ ]	s	v
1,60	2,00	1,50	1,70	0,26	15,60

Naměřené hodnoty R vodivé dráhy z vodivé stuhy [ $\Omega/m$ ]						
Proces	1. měření	2. měření	3. měření	$\bar{R}$ [ $\Omega/m$ ]	s	v
<b>Ukončení drukem</b>	1,70	2,10	1,60	1,80	0,26	14,70
<b>1. praní</b>	2,00	2,10	1,90	2,00	0,10	5,00
<b>2. praní</b>	1,90	2,20	1,80	2,00	0,21	10,60
<b>3. praní</b>	2,10	2,30	2,40	2,27	0,15	6,70
<b>4. praní</b>	2,50	2,30	2,50	2,40	0,12	4,80
<b>5. praní</b>	2,30	2,60	2,50	2,50	0,15	6,20

Naměřené hodnoty R [ $\Omega/m$ ] vodivé stuhy po připájení na vodivý zip a cyklech o/z a praní						
Proces	1. měření	2. měření	3. měření	[R $\Omega/m$ ]	s	v
<b>Po ukončení</b>	13,80	13,60	16,40	14,60	1,56	10,70
<b>10x o/z</b>	12,90	14,60	15,90	14,50	1,50	10,40
<b>1. praní</b>	20,90	16,10	20,50	19,20	2,66	13,90
<b>10x o/z</b>	21,00	18,70	21,50	20,40	1,49	7,30
<b>2. praní</b>	16,60	19,70	21,30	19,20	2,39	12,50
<b>10x o/z</b>	13,90	19,60	25,40	19,60	5,75	29,30
<b>3. praní</b>	16,90	19,50	25,00	20,50	4,14	20,20
<b>10x o/z</b>	17,50	26,50	24,70	22,90	4,76	20,80
<b>4. praní</b>	17,20	27,80	27,10	24,00	5,93	24,60
<b>10x o/z</b>	18,40	27,60	26,50	24,20	5,02	20,80
<b>5. praní</b>	20,40	40,60	39,20	33,40	11,28	33,80